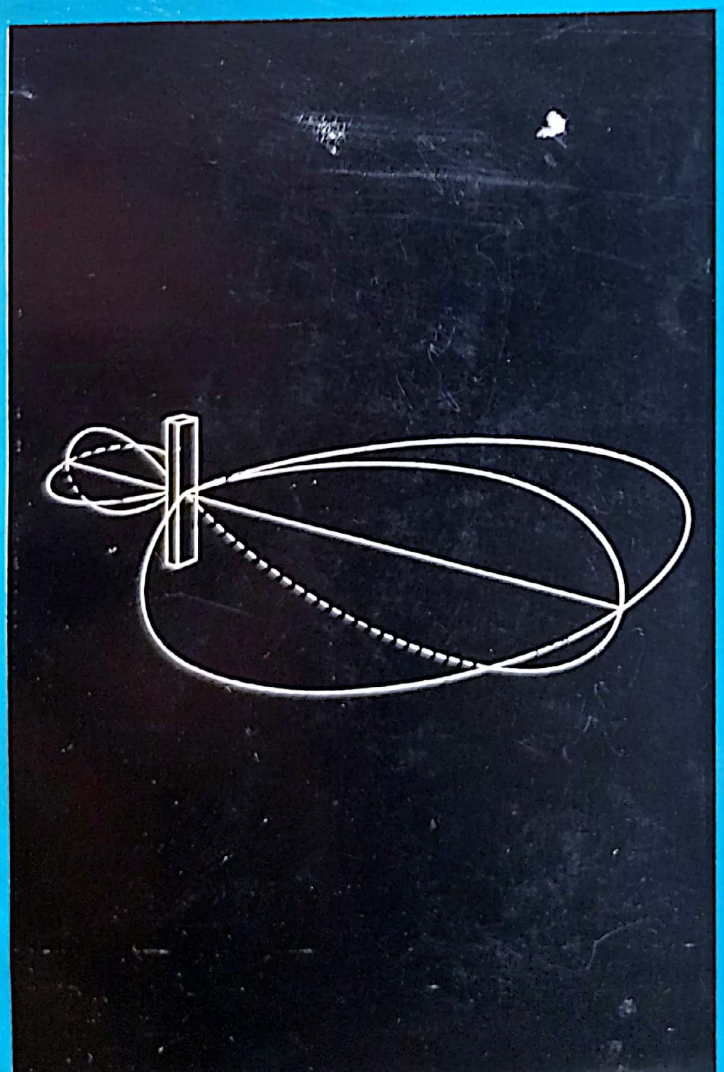
C. Luca
L. Zănescu

Tehnica sunetului



Sonorizare

Sonorizare

Lucrarea conține elemente de bază privind proiectarea și realizarea instalațiilor de sonorizare.

Sînt prezentate noțiunile necesare calculului instalațiilor de sonorizare în încăperi și în aer liber, precum și elementele componente ale lanțului electroacustic.

De asemenea, sînt dezvoltate unele din problemele teoretice și practice privind acustica fiziologică și arhitecturală, cu aplicații în cazul amenajărilor acustice necesare realizării sonorizărilor de calitate.

Parametrii tehnici ai echipajelor de sonorizare, corespunzători nivelului tehnicii actuale moderne, sînt concretizați în capitolele referitoare la realizări de instalații.

Metodele și echipamentele de măsurare ale instalațiilor de sonorizare formează obiectul unui capitol aparte în cadrul acestei lucrări.

Cartea se adresează inginerilor și tehnicienilor electroniști, în a căror preocupare intră realizarea, întreținerea și exploatarea instalațiilor de sonorizare.

Scanned with OKEN Scanner

Ing. Corneliu Luca
Ing. Liviu Zănescu

Tehnica sunetului
Sonorizare

Editura tehnică
București — 1970

Scanned with OKEN Scanner

Prefață

Electroacustica constituie în momentul de față disciplina de bază a unor tehnici în plină evoluție ca, de exemplu: radiodifuziunea, sonorizarea, industria fonografică și cinematografică, înregistrarea magnetică etc. Obiectul ei de studiu îl formează sunetul transformat în semnal electric. Acesta poate fi astăzi transportat la distanță, conservat și apoi redat în condiții de calitate tehnică excepționale. În acest sens, o contribuție importantă revine stereofoniei și înaltei fidelități, prin intermediul cărora s-a imprimat un nou impuls dezvoltării pe plan mondial a acestei discipline.

Dintre toate ramurile electroacusticii, cea care se bucură de răspîndirea cea mai largă o constituie sonorizarea. Ea este tratată în cadrul acestei lucrări, autorii propunîndu-și să pună la dispoziția inginerilor și tehnicienilor elementele de proiectare și modalitățile de realizare a instalațiilor electroacustice de sonorizare și a amenajărilor acustice ale încăperilor aferente acestora. În acest fel s-a încercat să se aducă o modestă contribuție la evitarea adoptării unor soluții empirice, care conduc la realizarea unor sonorizări de calitate necorespunzătoare. De asemenea, s-a insistat asupra diversității și multitudinii de factori care intervin în proiectarea unei sonorizări și care imprimă fiecărei soluții caracterul de unicat.

Lucrarea cuprinde șase capitole. Primele două conțin noțiunile de bază ale acusticii fiziologice și ale acusticii arhitecturale. S-a insistat asupra aspectului fiziologic al audiției, considerîndu-se că, deși la dispoziția tehnicienilor sînt puse echipamente complexe pentru determinarea parametrilor tehnici ai instalațiilor de sonorizare, organul auditiv rămîne pînă la urmă principalul judecător al reușitei unei sonorizări.

În capitolul trei sînt prezentate elementele componente ale lanțului electroacustic, în soluții constructive moderne.

În capitolul patru sînt descrise metodele de calcul și de amplasament ale surselor sonore, fiind prezentați principalii factori care influențează calitatea unei sonorizări. Paragrafele referitoare la înregistrarea și re-

Scanned with OKEN Scanner

darea sunetului de pe film și la descrierea instalațiilor electroacustice utilizate în cinematografie au fost întocmite de ing. **Günter Hochmeister,** *căruia îi mulțumim pe această cale.*

Realizările recente în domeniul sonorizărilor — din țară și din străinătate — formează obiectul capitolului cinci.

Principalele metode de măsurare a parametrilor tehnici ai instalațiilor de sonorizare, precum și echipamentele destinate acestor măsurări sînt descrise în capitolul șase.

Lucrarea cuprinde numeroase tabele, din care rezultă proprietățile acustice ale diferitelor structuri și materiale, care au fost măsurate și probate de autori în laboratoarele Comitetului de Radiodifuziune și Televiziune.

Cartea face parte dintr-un ciclu de lucrări intitulat **„TEHNICA SUNETULUI“** *care cuprinde de asemenea lucrările* **„Captarea sunetului“** *și* **„Înregistrarea și redarea sunetului“.** *Conținutul lucrărilor a fost corelat în timpul editării. În acest sens se poate menționa, de exemplu, că o serie de noțiuni de bază expuse mai amănunțit în această lucrare nu vor fi reluate în celelalte două lucrări din ciclu.*

Conținutul lucrării, pe lîngă datele obișnuite de proiectare a instalațiilor de sonorizare uzuale, caută să dea cititorului o orientare de ansamblu în legătură cu problemele de proiectare și realizare a instalațiilor de sonorizare cu caracter mai complex. În aceste condiții, unele părți ale lucrării sînt expuse la un nivel ceva mai ridicat în comparație cu al celorlalte lucrări din ciclu.

AUTORII

Scanned with OKEN Scanner

Cuprins

Prefață 5

Cap. 1. **Noțiuni de bază** 9

1.1. Generalități 9
1.2. Unde acustice în aer liber. Surse de sunet.. Propagare 11
1.3. Refracția și reflexia undelor acustice 27
1.4. Difracția undelor acustice 31
1.5. Excitația sonoră și senzația auditivă 36
1.6. Particularitățile urechii 52
1.7. Ecoul și influența lui asupra percepției auditive 58

Cap. 2. **Acustica interioară a încăperilor** 62

2.1. Metode de studiu al cîmpului acustic din încăperi 62
2.2. Noțiuni de acustică statistică 65
2.3. Proprietăți acustice ale încăperilor explicate cu ajutorul acusticii geometrice 79
2.4. Proprietăți acustice ale încăperilor explicate cu ajutorul acusticii ondulatorii 88
2.5. Absorbția sunetului în încăperi 99

Cap. 3. **Lanțul electroacustic. Caracteristici, elemente componente** 153

3.1. Generalități 153
3.2. Caracteristicile unui lanț electroacustic 154
3.3. Elementele componente ale lanțului electroacustic 160

Cap. 4. **Instalații de sonorizare în încăperi și în aer liber** 247

4.1. Generalități 247
4.2. Instalații de sonorizare în încăperi 248
4.3. Instalații de sonorizare în aer liber 291
4.4. Realizări în domeniul sonorizărilor 304

Scanned with OKEN Scanner

Cap. 5. **Efecte sonore produse pe cale electroacustică** 339

5.1. Stereofonia 339
5.2. Sunetul panoramic 376

Cap. 6. **Instalarea echipamentelor electroacustice pentru sonorizare** 381

6.1. Încăperi în care se instalează echipamentele electroacustice destinate sonorizărilor 381
6.2. Indicații generale privind instalarea echipamentelor electroacustice pentru sonorizare 389
6.3. Măsurări executate în instalațiile electroacustice destinate sonorizărilor 407
6.4. Amplificatoare de putere utilizate în instalațiile de sonorizare 425

Bibliografie 437

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 1

Noțiuni de bază

1.1. Generalități

Se cunoaște faptul că vibrațiile[1]) produse de un corp oarecare așezat într-un mediu elastic se pot transmite particulelor mediului aflat în contact cu corpul care vibrează. În acest fel ia naștere o perturbare, iar mediul fiind elastic, datorită interacțiunii dintre particulele mediului, această perturbare nu rămîne localizată în jurul sursei de perturbație, producîndu-se următorul fenomen: particulele puse în mișcare antrenează particulele învecinate care, la rîndul lor, antrenează alte particule, fenomenul repetîndu-se mai departe.

În felul acesta se formează unde denumite „elastice", care iau alternativ forma unor compresiuni sau a unor rarefieri (dilatări) succesive ale mediului.

Întrucît perturbația care se produce într-un mediu elastic poate lua forme variate, se înțelege că și undele elastice pot fi foarte variate. Una din categoriile de unde elastice o formează „undele acustice" care, considerate din punctul de vedere al senzației pe care o produc asupra organului auditiv, se pot împărți în: *unde sonore*, care produc senzația de sunet, *unde ultrasonore*, ale căror frecvențe depășesc frecvența sunetului celui mai înalt perceput de organul auditiv al omului și *unde infrasonore* avînd frecvențe inferioare frecvenței sunetului celui mai grav perceput de organul auditiv al omului. Se precizează că domeniul frecvențelor audibile este cuprins între aproximativ 16 și 20 000 Hz, frecvențele joase corespund sunetelor grave (joase), iar cele înalte, sunetelor ascuțite (înalte).

Particulele mediului elastic pot avea în mișcarea lor vibratorie mai multe feluri de traiectorii. Dacă traiectoria este liniară și deplasarea particulei se produce în direcția propagării undei, atunci undele cores-

[1]) Prin vibrație se înțelege mișcarea particulelor unui mediu elastic de o parte și de alta a unei poziții de echilibru.

punzătoare sînt denumite *unde longitudinale*, acesta fiind cazul undelor acustice într-un fluid. Dacă traiectoria este liniară și deplasarea particulei se produce după o direcție perpendiculară pe direcția propagării undelor, atunci undele corespunzătoare se numesc *unde transversale*. Ele iau naștere prin vibrarea corpurilor solide de dimensiuni infinite. În cazul corpurilor solide de dimensiuni finite apar *unde cuasilongitudinale* și *unde de încovoiere*. În cazul în care traiectoria este un cerc avînd ca centru poziția de repaus a particulei, conținut într-un plan paralel cu direcția de propagare, undele corespunzătoare se numesc *unde de suprafață*. Acestea sînt cele care se produc la suprafața unei ape adînci. Mai trebuie amintite și *undele de torsiune* care se formează în barele circulare supuse unor cupluri și iau naștere dacă traiectoria particulelor este tot circulară, însă planul cercului este perpendicular pe direcția de propagare a undelor.

Regiunea mediului elastic, care se găsește în stare de vibrație, se numește *cîmp acustic*. În cazul cînd undele acustice produc senzația de sunet, sediul acestor unde ia denumirea de *cîmp sonor*.

Frontul undei se definește ca fiind locul geometric al punctelor în mediu, care au aceeași stare de vibrație. Dacă perturbația este produsă de un punct material aflat în vibrație (sursă punctuală), fronturile undei sînt niște suprafețe sferice, avînd centrul într-un punct care coincide cu sursa. Acestea constituie *undele sferice*. Pentru undele sferice ajunse la distanțe mari în raport cu sursa care le-a produs, fronturile de undă pot fi asimilate cu unde plane, perpendiculare pe direcția de propagare. *Undele plane* sînt caracterizate prin aceea că toate punctele care au aceeași stare de vibrație se găsesc în același plan sau, altfel exprimat, deplasările particulelor tuturor punctelor situate într-un plan perpendicular pe direcția de propagare a undei au aceeași fază și aceeași amplitudine.

În acustică se întîlnește și noțiunea de *rază acustică*, prin analogie cu raza de lumină din optică. Aceasta este definită ca traseul unui element al frontului undei, în cazul undelor acustice libere, raza fiind întotdeauna normală pe frontul undei.

Ca urmare a perturbației ce are loc într-un mediu elastic, într-un punct din acest mediu, la un moment dat, se produce o compresiune, iar după un anumit interval de timp se va produce o rarefiere. Compresiunea caracterizîndu-se printr-o mărire a presiunii și rarefierea printr-o micșorare a presiunii, propagarea perturbației se traduce printr-o variație a presiunii în punctul considerat. *Sunetul* este rezultatul acestei variații de presiune instantanee a aerului ambiant capabilă să producă

Scanned with OKEN Scanner

o senzaţie auditivă. Senzaţia auditivă depinde atît de caracteristicile sursei de sunet care generează undele sonore capabile să impresioneze auzul cît şi de organul auditiv. Intensitatea sunetului generat este funcţie de valoarea presiunii maxime instantanee a vibraţiei mediului.

1.2. Unde acustice în aer liber. Surse de sunet. Propagare

1.2.3. *Viteza sunetului în aer*

Din studiul fizicii se cunoaşte faptul că propagarea undelor acustice nu poate avea loc decît într-un mediu ce prezintă proprietăţi de masă şi elasticitate. Aerul considerat ca mediu ambiant pentru propagarea undelor acustice posedă aceste două însuşiri.

O constantă caracteristică a mediului în care are loc propagarea undelor acustice este viteza de propagare a undelor acustice. *Viteza de propagare* a sunetului *(c)* variază cu natura mediului şi este, în general, independentă de frecvenţa şi de amplitudinea deplasării particulelor de aer.

Pentru aer, presupunîndu-se că perturbaţia care se produce ca urmare a propagării undelor are un caracter adiabatic, viteza de propagare a undelor longitudinale c_L se poate calcula cu relaţia:

$$c_L = \sqrt{\frac{P_0 \varkappa}{\rho_0}}, \tag{1.1}$$

unde: P_0 este presiunea statică, în N/m² sau în dyn/cm²;

$\varkappa$ — raportul căldurilor specifice (în cazul gazelor biatomice este aproximativ egal cu 1,4);

ρ_0 — densitatea mediului, în kg/m³ sau în g/cm³.

Viteza de propagare a sunetului în aer este de aproximativ 331,8 m/s la 0°C. Ea creşte cu aproximativ 0,6 m/s la fiecare grad Celsius ($c_L = 20{,}1 \sqrt{T}$ [m/s], T fiind temperatura absolută) şi depinde de starea higrometrică a atmosferei.

Practic, relaţia care exprimă variaţia vitezei sunetului în funcţie de temperatura aerului este următoarea:

$$c = 331{,}8 + 0{,}6\, t, \tag{1.2}$$

unde c este viteza sunetului, în m/s;

t — temperatura aerului, în °C.

Scanned with OKEN Scanner

În calcule se pot admite pentru aer următoarele valori ale vitezei sunetului: $c \approx 350$ m/s, în timpul verii, la $t \approx 30°$, și $c \approx 320$ m/s, în timpul iernii la $t = -20°$.

Pentru spațiile închise, de exemplu, sălile din interiorul clădirilor, considerînd în medie temperatura încăperii $t = 17°C$, viteza sunetului se poate considera egală cu 340 m/s.

Trebuie precizat faptul că viteza c de propagare a undelor acustice, numită *viteza sunetului*, reprezintă numai viteza cu care se propagă în spațiu o perturbație produsă de radiația unei surse acustice și nu trebuie confundată în nici un caz cu viteza particulei mediului *aer* în vibrația sa în jurul poziției ei de echilibru, cînd se produc fenomenele de comprimări și dilatări succesive ale particulelor aerului. Așa cum s-a mai arătat, viteza de propagare a sunetului reprezintă viteza de transport a stării de vibrație în mediu. Ea este o constantă care depinde de natura mediului. Viteza de vibrație (oscilație) este asociată mișcării locale a particulei de aer și este o funcție de timp.

1.2.2. *Lungimea de undă*

Sub denumirea de *lungime de undă* λ se înțelege distanța dintre două puncte succesive în care au loc concomitent comprimări sau dilatări ale mediului (fig. 1.1).

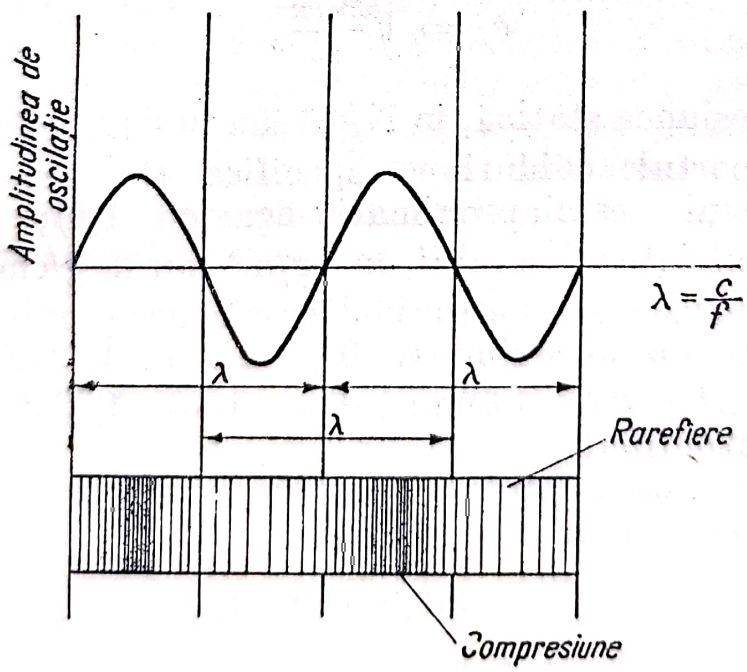


Fig. 1.1. Reprezentarea transversală a undelor longitudinale.

Lungimea de undă este definită prin raportul dintre viteza și frecvența sunetului:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \tag{1.3}$$

unde c este viteza sunetului, în m/s sau în cm/s;
f — frecvența sunetului, în Hz;
λ — lungimea de undă, în m sau în cm.

1.2.3. *Presiunea acustică*

În aer, presupunîndu-se că nu există nici o sursă sonoră care să radieze sunet și deci nu se produce nici o perturbație, va exista aceeași presiune în orice punct considerat. Presiunea care există într-un asemenea mediu elastic, în lipsa undelor acustice, poartă numele de *presiune statică*; în cazul aerului ea este egală chiar cu presiunea atmosferică și are valoarea:

$P_0 = 1{,}013.10^5$ N/m² $= 1{,}013.10^6$ μbar $= 1{,}013.10^6$ dyn/cm² (s-a ținut seamă de relația de conversiune dintre sistemele SI și CGS: 1 N/m² = 10 μbar = 10 dyn/cm²). Dacă o sursă sonoră începe să radieze, se creează o perturbație în aer (mediu elastic). În acest caz, într-un punct al mediului se constată la un moment dat că se produce o compresiune și o rarefiere a mediului în care se propagă unda sonoră. Dar compresiunea într-un punct înseamnă creșterea presiunii în acel punct, iar rarefierea reprezintă o micșorare a presiunii în același punct. Deci, propagarea perturbației se caracterizează printr-o anumită variație a presiunii totale în punctul considerat. Această variație a presiunii, care reprezintă, de fapt diferența dintre presiunea totală într-un punct al aerului la un moment dat și presiunea statică a primit denumirea de *presiune acustică instantanee* p. Ea se exprimă, de asemenea, în N/m² sau dyn/cm². Valoarea maximă a presiunii acustice instantanee din cursul unei perioade într-un punct al mediului elastic (aerul), reprezintă *presiunea acustică maximă* P, exprimată tot în N/m² sau dyn/cm². În cazul unei unde sinusoidale, această presiune P se numește *amplitudinea presiunii*.

Un termen foarte des întîlnit este *presiunea acustică eficace* P_{ef}, exprimată în N/m² sau dyn/cm². Ea reprezintă valoarea medie pătratică a presiunii acustice instantanee p într-un punct al unui mediu, în interval de o perioadă: $P_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T p^2 \mathrm{d}t}$. În cazul măsurării presiunilor neperiodice, durata măsurării presiunii acustice efectuată cu un

fonometru (sonometru) trebuie să fie mai mare. În general, în tehnica măsurărilor acustice se întîlnește adesea expresia prescurtată pentru acest termen, și anume cel de *presiune acustică*.

Pentru toate presiunile acustice enumerate se mai poate folosi ca unitate de măsură și microbarul (μbar).

1.2.4. *Energia, densitatea de energie și fluxul de energie acustică*

Din cele expuse se deduce că, atunci cînd într-un punct al unui mediu elastic se produce o perturbație, energia nu rămîne localizată în acel punct. Această energie se propagă în mediu, respectiv în aer, din aproape în aproape, o dată cu propagarea undei acustice.

Energia conținută într-o porțiune dată a mediului, datorită exclusiv prezenței undelor acustice, constituie ceea ce se denumește *energie acustică* și se notează cu W.

Energia acustică totală medie, conținută în unitatea de volum în mediul de propagare a undelor acustice, constituie *densitatea de energie acustică*:

$$w = \frac{W}{V}, \tag{1.4}$$

unde: w este densitatea de energie, în J/m³ sau în erg/cm³

(1 J/m³ = 10 erg/cm³);

W — energia acustică, în J sau erg;

V — volumul, în m³ sau cm³.

Cantitatea de energie acustică care străbate în unitatea de timp o suprafață dată, normală pe direcția de propagare a undei, se numește *flux de energie acustică* θ:

$$\theta = \frac{W}{t}, \tag{1.5}$$

unde: θ este fluxul de energie acustică, în W sau în erg/s;

W — energia acustică, în J sau erg;

t — timpul, în s.

1.2.5. *Intensitatea acustică*

Dacă fluxul de energie acustică se raportează la unitatea de suprafață A, se obține o altă mărime fizică importantă, numită *intensitate acustică* I, care se exprimă în waţi/metru pătrat $\left[\frac{W}{m^2}\right]$ sau erg/secundă × × centimetru pătrat [erg./s·cm²]:

$$I = \frac{\theta}{A}. \tag{1.6}$$

Intensitatea acustică reprezintă, deci, fluxul de energie acustică care străbate unitatea de arie perpendiculară pe direcţia de propagare.

Înlocuind pe θ din relaţia (1.6) cu valoarea găsită în (1.5) se obţine:

$$I = \frac{\theta}{A} = \frac{W}{A \cdot t}. \tag{1.7}$$

Pentru undele plane progresive, între intensitatea acustică I şi presiunea acustică eficace într-un punct există şi relaţia:

$$I = \frac{P_{ef}^2}{\rho_0 c}, \tag{1.8}$$

în care: I este intensitatea acustică, în W/m² sau în erg/ s·cm²;

P_{ef} — presiunea acustică eficace, în N/m² sau în dyn/cm²;

ρ_0 — densitatea mediului, în kg/m³ sau în g/cm³;

c — viteza sunetului prin mediul considerat, în m/s sau în cm/s.

Mărimea $\rho_0 c$ reprezintă *impedanţa caracteristică* (specifică) *a mediului* (aer) prin care are loc propagarea undei sonore şi se exprimă în newton × secundă/m³ [N·s/m³] în SI sau dynă × secundă/centimetru cub, în CGS, această unitate din urmă purtînd denumirea de Rayl [1 Ns/m³ = 10^{-1} dyn·s/cm³ = 10^{-1} Rayl].

Impedanţa caracteristică a aerului la temperatura de 20°C, ţinînd seamă că c = 344 m/s şi ρ_0 = 1,2 kg/m³, are valoarea de 414 N·s/m³ sau 41,4 Rayl [41,4 dyn·s/cm³].

În cazul undelor sferice progresive, expresia intensităţii acustice într-un punct este:

$$I = \frac{P_{ef}^2}{\rho_0 c}\left(1 + \frac{1}{2\,k^2\,r^2}\right), \tag{1.9}$$

în care: I este intensitatea acustică în W/m^2 sau în $erg/s \cdot cm^2$;

P_{ef} — presiunea acustică eficace, în N/m^2 sau în dyn/cm^2;

ρ_0 — densitatea mediului, în kg/m^3 sau în g/cm^3;

c — viteza sunetului prin mediul considerat, în m/s sau în cm/s;

$k = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda}$ — factorul de undă, în m^{-1} sau în cm^{-1};

r — raza sferei pe care se găsesc toate punctele care suferă la un moment dat acțiunea mișcării perturbatoare, în m sau în cm.

În ipoteza că distanța față de centrul sursei sferice este mare în comparație cu lungimea de undă, adică $2k^2r^2 \gg 1$, intensitatea acustică este aceeași cu cea corespunzătoare undelor plane progresive.

1.2.6. *Radiatoare acustice*

Proprietățile principale ale surselor acustice. Radiatorul acustic este dispozitivul care creează cîmpul acustic, fiind constituit dintr-un corp în vibrație.

Se știe că sunetul se produce ca urmare a vibrației unei suprafețe puse în contact cu mediul de propagare. Acesta opunînd o anumită împotrivire vibrației, determină un transfer parțial al energiei. Această trecere a energiei suprafeței vibrante (suprafață de radiație) în mediul de propagare constituie acțiunea de radiație a sursei acustice.

Sînt cunoscute mai multe forme de bază pentru suprafețele de radiație care creează cîmpul acustic, și anume: sfera pulsantă, cilindrul pulsant și diafragma radiatoare sau pistonul radiant.

Sfera pulsantă este un radiator ce generează un cîmp de unde sferice datorită pulsațiilor unei suprafețe în formă de sferă, ale cărei puncte se deplasează radial, simultan, sinfazic și cu amplitudine identică. Ca o aplicație a sferei pulsante se poate cita transmisia energiei acustice printr-un orificiu care se găsește într-un perete de dimensiuni practic infinite.

Cilindrul pulsant este constituit dintr-un cilindru perfect rigid care are o viteză de oscilație constantă în întregime radială. Acest radiator generează un cîmp de unde cilindrice. Undele cilindrice pot apărea, de exemplu, cînd sunetul se propagă în pereți subțiri sau în tuburi.

Scanned with OKEN Scanner

Diafragma radiatoare sau pistonul radiant este constituit dintr-un disc circular foarte subțire, perfect rigid, care oscilează cu o viteză sinusoidală normală pe planul său. Acest tip de radiator se găsește în următoarele variante: piston montat într-un ecran infinit, piston liber în spațiu și piston capsulat.

Pistonul montat într-un ecran infinit corespunde unui difuzor montat într-un ecran de dimensiuni foarte mari; pistonul liber în spațiu corespunde unui difuzor fără ecran, iar pistonul capsulat corespunde unui difuzor încasetat.

Sursa acustică care radiază sunetul uniform în toate direcțiile într-un cîmp acustic liber [1]) se numește *sursă acustică simplă.* O astfel de sursă acustică o constituie, după cum am văzut, și sfera pulsantă. Sfera pulsantă este un radiator ideal care nu se întîlnește în practică. O formă apropiată se poate realiza dintr-un poliedru cu un număr mare de laturi pe ale căror fețe se găsesc montate difuzoare identice alimentate cu aceeași tensiune și oscilînd sinfazic.

Cînd raza r a sferei pulsante devine foarte mică, astfel încît există relația $\frac{\lambda}{2r} \approx \frac{\lambda}{6}$, se zice că sfera pulsantă constituie un radiator acustic nedirectiv, care creează un cîmp acustic uniform. Altfel spus, o sursă acustică sferică punctuală este realizată atunci cînd dimensiunile unei surse acustice sînt mici în comparație cu lungimea de undă a sunetului produs, iar componenta normală a deplasării are aceeași fază în toate punctele suprafeței.

Ținînd seamă de modul în care o sursă radiază în spațiul înconjurător energia acustică, se poate spune despre acea sursă că se caracterizează prin: puterea acustică pe care o radiază, directivitatea ei, spectrul de frecvență radiat și modul în care radiază energia acustică în timp.

Puterea acustică $\mathcal{P}_a$ reprezintă energia acustică totală radiată de o sursă acustică în unitatea de timp.

Puterea acustică corespunzătoare vocii omenești este foarte redusă; valoarea puterii acustice medii produse de o persoană, vorbind normal, este de ordinul a $2 \cdot 10^{-5}$ W.

Puterea acustică corespunzătoare sunetului radiat de o orchestră mare este de aproximativ 50—70 W.

---

[1]) Cîmpul acustic liber este acel cîmp în care există numai unde progresive.

În tabelul 1.1 sînt indicate puterile aproximative corespunzătoare diverselor surse acustice.

Tabelul 1.1

Puterile aproximative corespunzătoare diverselor surse acustice

Sursa acustică	Puterea acustică $\mathcal{P}a$	Domeniul de frecvențe Hz
Foșnetul frunzelor	$1 \cdot 10^{-9}$	—
Voce normală	$2 \cdot 10^{-5}$	100— 8000
Voce puternică	$1 \cdot 10^{-3}$	—
Vioară	$6 \cdot 10^{-3}$	170— 3200
Clarinet	$5 \cdot 10^{-2}$	140—10000
Flaut	$6 \cdot 10^{-2}$	250— 9000
Violoncel	$1{,}6 \cdot 10^{-1}$	70— 8000
Trompetă	$3 \cdot 10^{-1}$	160— 9500
Pian	$3 \cdot 10^{-1}$	30— 6500
Harpă	$5 \cdot 10^{-1}$	32— 8000
T ombo	0,40	800— 7000
Orgă	13,00	19—11200
Orchestră simfonică	50—70	35—14000

Puterea acustică este legată de intensitatea acustică prin relația:

$$\mathcal{P}_a = IS, \tag{1.10}$$

unde: $\mathcal{P}_a$ este puterea acustică a sursei, în W sau în erg/s [1 W = $= 10^7$ erg/s];

I — intensitatea acustică, în $\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ sau în erg/s·cm²;

S — suprafața totală străbătută de energia acustică radiată de sursă, în m² sau în cm².

Presupunînd că există o sursă acustică care radiază uniform în toate direcțiile (sursă nedirectivă sau omnidirecțională), ea va produce unde sferice. În relația (1.10) se poate deci considera că S va fi suprafața unei sfere imaginare, avînd centrul în radiatorul acustic considerat (în speță sfera pulsantă) și raza r. Atunci intensitatea acustică creată de radiator într-un punct oarecare, aflat la distanța r de el, va fi:

$$I = \frac{\mathcal{P}_a}{S} = \frac{\mathcal{P}_a}{4\pi r^2}, \tag{1.11}$$

iar presiunea acustică:

$$P_{ef}^2 = \rho c \frac{\mathcal{P}_a}{4 \pi r^2} \text{ sau } P_{ef} = \frac{1}{2 r} \sqrt{\mathcal{P}_a \frac{\rho c}{\pi}}. \qquad (1.12)$$

Totuși, orice sursă acustică radiază energia, de cele mai multe ori în mod neegal, unele direcții fiind favorizate față de altele.

Aceste tipuri de surse, ca de exemplu, organul vocal, difuzorul, claxonul de automobil etc. devin cu atît mai directive, cu cît lungimea de undă a sunetului radiat este mai mică față de dimensiunile sursei.

De aceea este necesar a se mai introduce în relația (1.11) un factor, care ține seamă de proprietățile directive ale surselor acustice. Factorul Q_D, numit *factor de directivitate*, este definit ca fiind raportul dintre presiunea acustică eficace P_{ef} măsurată pe o anumită direcție, la o anumită distanță de centrul sursei, și media presiunilor acustice eficace, măsurată la o aceeași distanță corespunzătoare tuturor direcțiilor de la sursă. Altfel exprimat, Q_D reprezintă raportul dintre intensitatea radiată de o sursă directivă într-o anumită direcție, la o anumită distanță r, și intensitatea radiată în aceeași direcție, la aceeași distanță r de către o sursă punctiformă izotropă, care ar fi așezată în locul sursei directive și ar radia aceeași putere totală ca și ea. Deci, Q_D indică valoarea raportului dintre energia emisă de o sursă directivă și energia care ar fi emisă în cazul cînd cu aceeași putere sursa ar fi emis nedirectiv. Factorul Q_D poate avea o valoare supra sau subunitară. În cazul unei surse nedirective, $Q_D = 1$. În cazul general, $Q_D \neq 1$, sursa avînd o radiație neuniformă. În acest caz, intensitatea acustică după o direcție oarecare θ față de direcția axei de referință și la o distanță r de centrul sursei este exprimată prin relația:

$$I_\theta = \frac{\mathcal{P}_a}{4 \pi r^2} Q_D. \qquad (1.13)$$

În ceea ce privește spectrul de frecvențe radiat de o sursă acustică, el este foarte divers. Există surse care radiază sunete pure, adică o vibrație armonică de o anumită frecvență. Alte surse radiază sunete complexe, constituite dintr-un număr de sunete pure, ale căror frecvențe alcătuiesc sau nu o serie armonică. Sînt multe surse care radiază zgomote, adică sunete supărătoare, compuse din vibrații acustice ce nu au componente bine definite.

Referitor la modul în care poate fi radiată energia acustică în timp, se știe că radiația poate fi continuă sau discontinuă. În cazul radiației discontinue, sunetele emise pot fi de o durată foarte scurtă, constituind

Scanned with OKEN Scanner

ceea ce se cunoaște sub numele de *impuls sonor*. Se mai poate întîmpla și cazul cînd sunetele au o oarecare durată, după care urmează pauze ce se pot succeda la intervale neegale sau egale în timp.

Prin gruparea surselor acustice punctiforme izotrope pot fi obținute caracteristici de directivitate de o anumită formă. În aplicațiile din tehnica sonorizărilor, sursele acustice, respectiv difuzoarele, pot fi asimilate cu niște surse punctiforme.

Ele se pot așeza aproape una de alta, asigurînd condiții pentru ca o astfel de grupare de surse acustice să poată fi recepționată la o depărtare utilă sonorizării efectuate.

Mai multe surse punctiforme, așezate una în apropierea celeilalte, de-a lungul unei linii drepte sau curbe, formează ceea ce numim *o coloană*. Intensitatea acustică la ascultător într-un punct dat depinde de puterea surselor punctiforme componente, de distanța dintre ele și de numărul lor (v. cap. 4.)

În cazul radiatorului de tip coloană, sursele punctiforme egale și echidistante pot fi sinfazice sau cu defazaj progresiv. În primul caz sursele nu sînt defazate între ele, pe cînd în al doilea, sursele punctiforme sînt defazate între ele cu o întîrziere crescîndă de la unul din capetele coloanei spre celălalt.

Sursele punctiforme egale și sinfazice pot fi dispuse și pe un arc circular sau pe un inel circular, ajungîndu-se la anumite caracteristici de directivitate cerute în aplicațiile sonorizărilor.

La fel cum se pot grupa sursele punctiforme izotrope, există posibilitatea grupării surselor directive. În acest caz se obțin anumite caracteristici de directivitate pentru o grupare anumită, depinzînd de sursele directive componente ale grupării. Presiunea totală creată de aceste coloane, cu surse directive într-un punct de ascultare, va fi dată de suma presiunilor produse de toate sursele directive componente.

1.2.7. *Nivelul de intensitate acustică. Nivelul de presiune acustică. Nivelul de putere acustică*

Pentru a ordona sunetele radiate de sursele acustice pe o scară gradată în intensități absolute, a fost necesară stabilirea unei intensități de referință cu care să poată fi comparate toate celelalte intensități acustice.

Conform recomandării ISO R131, nr. 504, intensitatea acustică de referință s-a ales egală cu $I_{ref} = 10^{-12}$ W/m^2 = 1 pW/m^2 [1pW = 1 picowatt] sau $I_{ref} = 10^{-16}$ W/cm^2 = 10^{-9} erg/s·cm^2, corespunzătoare

aproximativ cu intensitatea minimă a unui sunet de frecvență 1 000 Hz, perceptibil de un ascultător otologic normal.

Nivelul de intensitate acustică L_I al unui sunet de orice frecvență este de zece ori logaritmul zecimal al raportului dintre intensitatea acelui sunet I și intensitatea sunetului de referință I_{ref}, adică:

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_{ref}} . \tag{1.14}$$

Nivelul L_I se exprimă în decibeli [dB]. Folosirea scării logaritmice în acustică se explică prin faptul că se înlătură astfel o mulțime de dificultăți care apar din cauza marii extinderi a domeniului în care pot varia valorile intensității acustice.

Într-un mod analog se poate defini o mărime utilizată frecvent în tehnica măsurărilor acustice, și anume nivelul de presiune acustică L.

Nivelul de presiune acustică L al unui sunet de orice frecvență este de douăzeci de ori logaritmul zecimal al raportului dintre presiunea acustică eficace P_{ef} a acelui sunet și presiunea acustică de referință P_{ref} (pentru P_{ref} s-a adoptat valoarea $P_{ref} = 2 \cdot 10^{-5}$ N/m^2 = $= 2 \cdot 10^{-4}$ μbar, corespunzătoare pragului de audibilitate):

$$L = 20 \lg \frac{P_{ef}}{P_{ref}} \text{ [dB]}. \tag{1.15}$$

Din relația (1.15) se constată că o dublare a presiunii acustice ($P_{ef} = 2 P_{ref}$) produce o creștere a nivelului de presiune acustică cu 6 dB, conform calculului:

$$L = 20 \lg \frac{2 P_{ref}}{P_{ref}} = 20 \lg 2 = 20 \times 0{,}30 = 6 \text{ dB},$$

în timp ce din relația (1.14) se constată că o dublare a intensității acustice ($I = 2 I_{ref}$) produce o creștere a nivelului de intensitate acustică cu 3 dB, conform calculului:

$$L_I = 10 \lg \frac{2 I_{ref}}{I_{ref}} = 10 \lg 2 = 10 \times 0{,}30 = 3 \text{ dB}.$$

Se poate stabili o corelație între nivelul de intensitate acustică și nivelul de presiune acustică, ținînd seamă că între intensitatea acustică și presiunea acustică există următoarea relație, valabilă atît în cazul undelor plane progresive cît și sferice:

$$L_I = L + 10 \lg \frac{P^2_{ref}}{\rho_0 c I_{ref}} . \tag{1.16}$$

Introducînd în relația (1.16) valorile $P_{ref} = 2 \cdot 10^{-4}$ dyn/cm² și $I_{ref} = 10^{-9}$ erg/s cm², se obține:

$$L_I = L + 10 \lg \frac{40}{\rho_0 c}.$$

În condițiile obișnuite de temperatură ($t = 22°C$) și presiune atmosferică ($P_0 = 750$ mm Hg) impedanța specifică a aerului este $\rho_0 c = 41{,}4$ dyn s/cm³.

În consecință, se poate considera că nivelul de presiune acustică este egal cu nivelul de intensitate acustică, lucru foarte important în măsurările acustice, unde în mod obișnuit se efectuează determinări ale presiunii acustice efective cu instrumente ca fonometru, sonometru etc.

Nivelul de putere acustică $L_{\mathcal{P}}$, corespunzător unei surse, este de zece ori logaritmul zecimal al raportului dintre puterea acustică $\mathcal{P}_a$ a sursei respective și o putere acustică de referință $\mathcal{P}_{ref}$, adică:

$$L_{\mathcal{P}} = 10 \lg \frac{\mathcal{P}_a}{\mathcal{P}_{ref}} \text{ [dB]}. \qquad (1.17)$$

Conform recomandării ISO R 131, nr. 504, pentru puterea acustică de referință se ia $\mathcal{P}_{ref} = 10^{-12}$ W = 1 pW.

Adoptarea unei scări logaritmice în acustică oferă posibilitatea determinării unor mărimi relative, cum ar fi cea a diferenței dintre două nivele de presiune acustică, de putere acustică etc.

Exemplu de calcul. Două surse de sunet P_1 și P_2 radiază cu puteri acustice de 300 W, respectiv 0,04 W. Se cere să se calculeze care sînt nivelele de putere acustică corespunzătoare acestor surse.

Conform relației (1.17), nivelele de putere acustică ale celor două surse sînt:

$$L_{\mathcal{P}_1} = 10 \lg \frac{300}{10^{-12}} \approx 145 \text{ dB};$$

$$L_{\mathcal{P}_2} = 10 \lg \frac{0{,}04}{10^{-12}} = 106 \text{ dB}.$$

1.2.8. *Atenuarea sunetului în aer liber*

Se știe că, cu cît depărtarea față de o sursă nedirecțională crește, cu atît energia acustică transportată de undele emise de această sursă scade.

Este de menționat faptul că puterea acustică a sursei rămîne aceeași, însă intensitatea descreşte invers proporțional cu pătratul distanței, conform relației (1.11).

Dacă I_1 și I_2 sînt intensitățile acustice în două puncte situate la distanțele r_1 și r_2 față de o sursă acustică nedirecțională (lipsită de orice obstacole împrejurul ei) și $r_1 < r_2$, raportul dintre cele două intensități va fi:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\dfrac{\mathcal{P}_a}{4\pi r_1^2}}{\dfrac{\mathcal{P}_a}{4\pi r_2^2}} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \text{ sau } I_2 = I_1 \frac{r_1^2}{r_2^2} \tag{1.18}$$

Raportînd expresia (1.18) la nivelul de referință stabilit pentru intensități, I_{ref} respectiv pentru presiuni P_{ref}, obținem nivelul de intensitate, respectiv de presiune acustică

$$\frac{I_2}{I_{ref}} = \frac{I_1}{I_{ref}} \frac{r_1^2}{r_2^2} \text{ și } 10 \lg \frac{I_2}{I_{ref}} = 10 \lg \frac{I_1}{I_{ref}} \frac{1}{\dfrac{r_2^2}{r_1^2}}$$

sau

$$L_{I_2} = L_{I_1} - 20 \lg \frac{r_2}{r_1}. \tag{1.19}$$

Diferența între nivelele de intensitate ale celor două surse acustice este:

$$\Delta L_I = L_{I_1} - L_{I_2} = 20 \lg \frac{r_2}{r_1}. \tag{1.20}$$

În cazul în care $r_2 = 2r_1$, se obține

$$\Delta L_I = 20 \lg \frac{2 r_1}{r_1} = 6 \text{ dB},$$

de unde se poate trage concluzia că la o dublare a distanței față de sursa acustică, nivelul presiunii acustice scade cu 6 dB.

Măsurînd nivelul presiunii acustice radiat de o sursă la distanța $r_1 = 1$ m de sursă, relația (1.19) devine:

$$L_{I_2} = L_{I_1} - 20 \lg r, \tag{1.21}$$

în care r este distanța (în metri) care separă punctul de ascultare de sursă.

Și atunci cînd se cunoaște nivelul de putere acustică al unei surse (deci puterea sursei) se poate calcula nivelul de presiune acustică într-un punct de ascultare, la distanța r de sursă, folosind relația

$$L = L_{\mathcal{P}} - 20 \lg r - 10{,}9, \qquad (1.22)$$

dedusă ținînd seamă de expresiile (1.12), (1.15) și (1.17). Valorilor care rezultă din relațiile (1.21) și (1.22), reprezentînd atenuarea suferită de undele sonore radiate de surse aflate la o înălțime mare față de sol, li se aduce o corecție de + 3 dB. Atenuarea se reduce în cazul cînd ele se aplică pentru surse acustice radiind la sol, unde intervin și reflexiile produse de suprafața pămîntului.

În afară de această atenuare în funcție de distanță, mai există atenuări suplimentare ale sunetului, datorate pe de o parte proprietăților aerului considerat ca mediu de propagare, iar pe de altă parte stratului cu care este acoperit solul.

O parte din energia acustică transportată de undele acustice este transformată în energie calorică, ca urmare a viscozității aerului, conductibilității termice și radiației căldurii. Pierderile de energie exprimate prin constanta de atenuare a sunetului, în dB/m, cresc o dată cu mărirea distanței punctului de recepție față de sursă. Constanta de atenuare este proporțională cu pătratul frecvenței și depinde de temperatura și de umiditatea aerului.

Variația atenuării sunetului în funcție de distanță, pentru diferite frecvențe ale sunetului, este prezentată în fig. 1.2. Din diagrama tra-

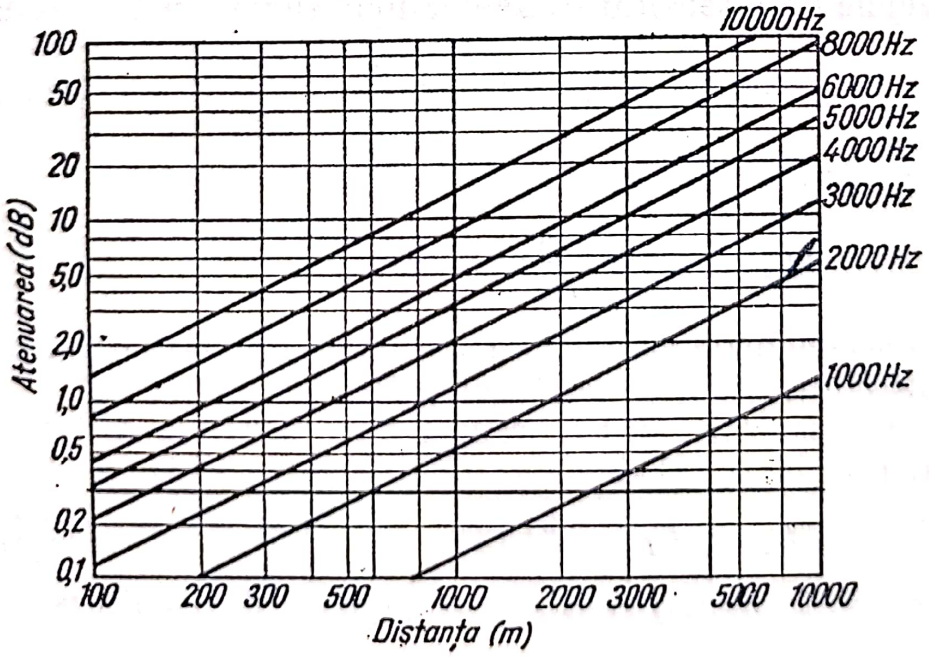


Fig. 1.2. Variația atenuării sunetului în funcție de distanță, pentru diferite frecvențe.

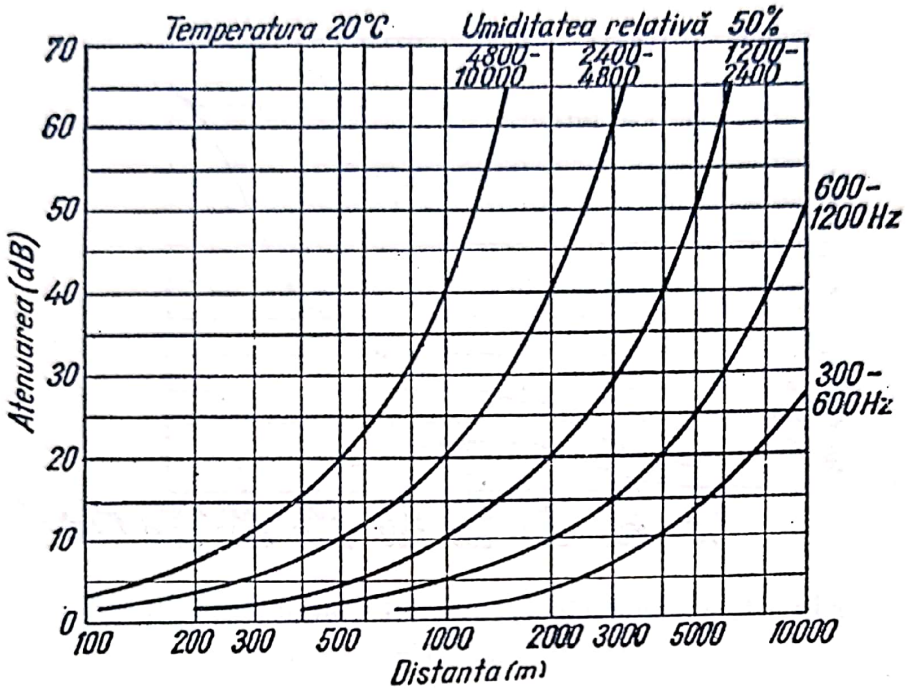


Fig. 1.3. Variaţia atenuării sunetului în funcţie de distanţă la temperatura de 20°C şi umiditatea de 50%.

sată se observă că sunetele de frecvenţă înaltă sînt mai mult atenuate decît cele de frecvenţă joasă, care astfel pot fi percepute la distanţe mai mari.

În propagarea sunetului radiat de sursele acustice mai intervine şi o absorbţie suplimentară, ce se datoreşte absorbţiei moleculare a aerului. În acest caz, constanta de atenuare depinde în bună măsură şi de temperatura şi umiditatea aerului. În fig. 1.3 se arată cum pot fi determinate atenuările sunetului în funcţie de distanţă pentru o temperatură de 20°C şi o umiditate relativă de 50%. În cazul cînd interesează atenuarea pentru alte valori ale umidităţii relative, valorile obţinute din această diagramă se multiplică cu un coeficient F, a cărui variaţie în funcţie de umiditatea relativă este arătată în diagrama din fig. 1.4.

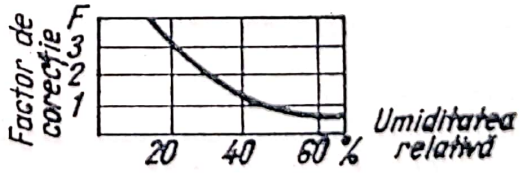


Fig. 1.4. Corecţia valorilor obţinute pentru atenuarea sunetului.

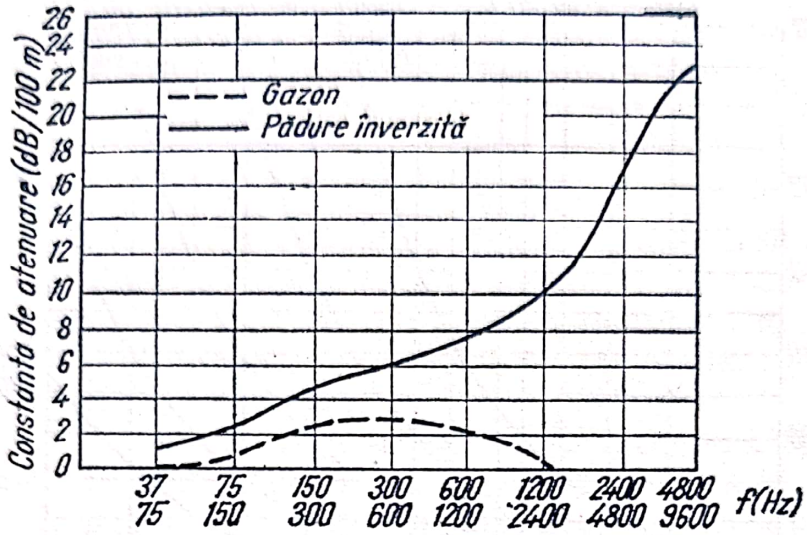


Fig. 1.5. Variația atenuării sunetului datorită vegetației.

În propagarea undelor sonore în aer liber mai intervine și atenuarea sunetului datorită vegetației cu care este acoperit solul (păduri etc.) (fig. 1.5).

Exemplu de calcul. O sursă acustică instalată pe sol produce în apropierea ei un nivel de presiune acustică de 110 dB în banda de frecvențe 300—8000Hz. Să se calculeze nivelul de presiune acustică ce va exista într-un punct situat la aproximativ 100 m depărtare de sursă, știind că temperatura aerului este de 20°C și umiditatea relativă, de 50%.

Știind că nivelul intensității acustice la depărtare de 1 m de sursă este $L_{I_1} = 110$ dB, cu ajutorul relației (1.21) se determină nivelul L_{I_2} care există la distanța $r = 100$ m față de sursă

$$L_{I_2} = 110 - 20 \log 100 = 70 \text{ dB}.$$

Deci, atenuarea sunetului, datorită distanței dintre sursă și punctul de recepție, rezultă:

$$\Delta L_I = L_{I_2} - L_{I_1} = 40 \text{ dB}.$$

Pentru că sursa acustică se găsește pe sol, apar reflexii care reduc această atenuare, după cum s-a arătat, cu aproximativ 3 dB, deci $\Delta L_I = 37$ dB.

Folosind diagrama din fig. 1.2, care indică atenuarea suferită de undele sonore care se propagă în aer liber, se poate calcula, în cazul de față, atenuarea corespunzătoare componentelor sunetelor generate de sursă în banda cuprinsă între 1 000 și 8 000 Hz;

$$\Delta L'_{3\,000} = 0{,}12 \text{ dB}; \quad \Delta L'_{4\,000} = 0{,}21 \text{ dB}; \quad \Delta L'_{5\,000} = 0{,}33 \text{ dB};$$
$$\Delta L'_{6\,000} = 0{,}48 \text{ dB}; \quad \Delta L'_{7\,000} = 0{,}66 \text{ dB}, \quad \Delta L'_{8\,000} = 0{,}82 \text{ dB}.$$

Cu ajutorul diagramei din fig. 1.3 se pot determina atenuările datorite absorbției moleculare în benzile 2 400—4 800 Hz și 4 800—10 000 Hz:

$$\Delta L''_{2\,400-4\,800} = 2 \text{ dB}; \quad \Delta L''_{4\,800-10\,000} = 4 \text{ dB}.$$

Valorile atenuărilor astfel obținute se însumează și urmează să se scadă din nivelul de intensitate acustică măsurat în imediata apropiere a sursei $L_{I_1} = 110$ dB. Deci, pentru un punct situat la o distanță de 100 m de sursă, rezultă următoarele nivele de intensitate pentru componentele sunetelor emise de sursă:

— pentru $f = 3\,000$ Hz, $L_I = 110 - (40 + 0{,}12 + 2) = 67{,}88$ dB;
— pentru $f = 4\,000$ Hz, $L_I = 110 - (40 + 0{,}21 + 2) = 67{,}79$ dB;
— pentru $f = 5\,000$ Hz, $L_I = 110 - (40 + 0{,}33 + 4) = 65{,}67$ dB;
— pentru $f = 6\,000$ Hz, $L_I = 110 - (40 + 0{,}48 + 4) = 65{,}52$ dB;
— pentru $f = 7\,000$ Hz, $L_I = 110 - (40 + 0{,}66 + 4) = 65{,}34$ dB;
— pentru $f = 8\,000$ Hz, $L_I = 110 - (40 + 0{,}82 + 4) = 65{,}18$ dB.

1.3. Refracția și reflexia undelor acustice

Cînd undele acustice întîlnesc în calea lor un obstacol care este constituit dintr-un alt mediu, ele pot pătrunde total sau parțial în acest mediu sau pot fi oprite de acesta. Se spune că la suprafața care separă cele două medii (mediul *1* și mediul *2*) se produce sau o refracție a undelor, sau o reflexie a lor sau ambele concomitent, așa cum se întîmplă de cele mai multe ori în realitate.

În cazul refracției, energia acustică incidentă trece din mediul inițial în mediul al doilea (mediul obstacol).

Cînd are loc fenomenul de reflexie, energia acustică incidentă pe suprafața de separare a celor două medii se întoarce în mediul inițial.

În cazul cînd fenomenele de refracție și reflexie au loc în același timp, energia acustică incidentă pătrunde parțial în cel de-al doilea mediu și parțial se reflectă.

Admițînd că o undă plană progresivă se propagă de-a lungul unei direcții care formează un unghi φ cu normala la suprafața de separație a celor două medii elastice în contact, rezultă că, luînd ca normală abscisa (axa OX), direcția de propagare a undei progresive refractate, ca și cea a undei reflectate, se găsesc în planul XOY (fig. 1.6). După cum s-a arătat, din incidența undei progresive care se propagă în primul mediu pe suprafața de separare a mediilor rezultă, pe de-o parte, o undă reflectată, a cărei direcție de propagare face cu normala la plan un unghi de reflexie φ_r, iar, pe de altă parte, o undă transmisă (refrac-

Scanned with OKEN Scanner

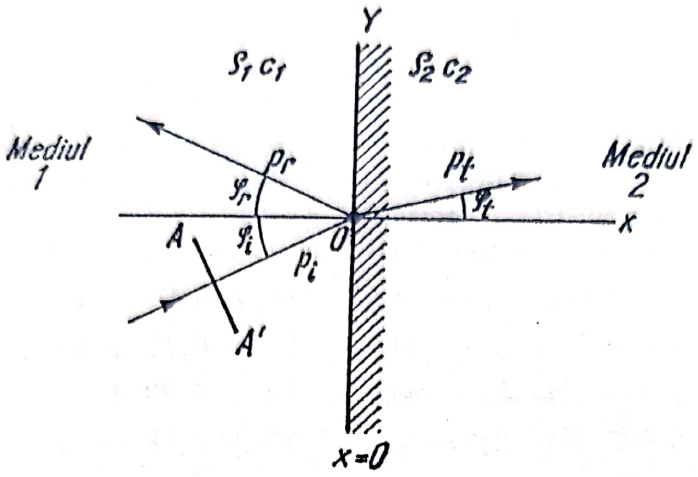


Fig. 1.6. Procesul de reflexie și refracție la suprafața a două medii diferite.

tată) în cel de-al doilea mediu, a cărei direcție de propagare face cu normala un unghi de refracție φ_t.

Din punct de vedere cantitativ fenomenele de refracție și reflexie pot fi precizate prin coeficienții de transmisie acustică și de reflexie energetic.

Considerînd cazul în care o undă acustică se propagă de-a lungul unei direcții normale la suprafața de separare a două medii (cînd există o incidență normală, cu frontul undei paralel cu planul de separare), se pot determina următorii coeficienți care ne interesează.

Coeficientul de transmisie acustică τ al unei suprafețe sau al unui material, la o frecvență dată, este raportul dintre fluxul de energie acustică transmisă prin acea suprafață sau acel corp și fluxul de energie acustică incident.

Acest coeficient se exprimă în funcție de impedanțele caracteristice ale mediilor în contact $\rho_1 c_1$ și $\rho_2 c_2$:

$$\tau = \frac{4\,\rho_1 c_1 \cdot \rho_2 c_2}{(\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2)^2}. \tag{1.23}$$

Intensitatea acustică I_t a undelor transmise se obține înmulțind intensitatea acustică a undelor incidente cu coeficientul de transmisie acustică τ:

$$I_t = I_i \tau = I_i \frac{4\,\rho_1 c_1 \cdot \rho_2 c_2}{(\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2)^2}. \tag{1.24}$$

Scanned with OKEN Scanner

Coeficientul de reflexie energetic k_r al unei suprafețe sau al unui material la o frecvență dată este raportul dintre fluxul de energie acustică reflectat și fluxul de energie incident.

Expresia acestui coeficient este:

$$k_r = \left(\frac{\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2}\right)^2. \tag{1.25}$$

Intensitatea I_r a undelor reflectate în funcție de intensitatea acustică I_i a undelor incidente este dată de relația:

$$I_r = I_i k_r = I_i \left(\frac{\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2}\right)^2. \tag{1.26}$$

Folosind notația $\xi = \frac{\rho_2 c_2}{\rho_1 c_1}$, relațiile (1.23), (1.24) (1.25) și (1.26) se transformă în:

$$\tau = \frac{4\xi}{(\xi + 1)^2}; \tag{1.27}$$

$$I_t = I_i \frac{4\xi}{(\xi + 1)^2}; \tag{1.28}$$

$$k_r = \left(\frac{\xi - 1}{\xi + 1}\right)^2; \tag{1.29}$$

$$I_r = I_i \left(\frac{\xi - 1}{\xi + 1}\right)^2. \tag{1.30}$$

Calculînd valorile coeficienților de transmisie și reflexie acustică, în cazul unei unde plane normale la suprafața de separație dintre două medii elastice, aer ($\rho_1 c_1 = 41{,}4$ dyn s/cm³) și beton ($\rho_2 c_2 = 80 \cdot 10^4$ dyn s/cm³), rezultă

$$\xi = \frac{\rho_2 c_2}{\rho_1 c_1} = \frac{80 \cdot 10^4}{41{,}4} \approx 19\,400,$$

iar

$$\tau = \frac{4\xi}{(\xi + 1)^2} = \frac{4 \cdot 19\,400}{(19\,400 + 1)^2} = 0{,}0002;$$

$$k_r = \left(\frac{\xi - 1}{\xi + 1}\right)^2 = \left(\frac{19\,400 - 1}{19\,400 + 1}\right)^2 = 0{,}995.$$

Din exemplul de mai sus se deduce că energia acustică transmisă din aer în beton este aproape nulă, $\tau = 0{,}0002$ (aproape întreaga energie rămîne în primul mediu) și că suprafața betonului este practic un reflector acustic foarte bun ($k_r = 0{,}995$) pentru undele acustice.

Scanned with OKEN Scanner

Din acest exemplu se vede că alegerea mediilor obstacole în calea sunetului are o deosebită importanță, lucru de care trebuie ținut seamă cînd se iau măsuri de izolație fonică în clădirile cu săli sonorizate, pentru a împiedica cît mai mult transmiterea zgomotelor nedorite dintr-un mediu într-altul.

Se știe că, la suprafața de separare a două medii în contact, are loc o disipare de energie acustică, întrucît nu întreaga cantitate de energie acustică incidentă este reflectată în mediul inițial. Se produce așa-numita absorbție a energiei acustice, caracterizată prin *coeficientul de absorbție acustică* α, legat de coeficientul de reflexie k_r prin relația:

$$\alpha = 1 - k_r. \tag{1.31}$$

Coeficientul de absorbție acustică al unei suprafețe sau al unui material, la o frecvență dată, reprezintă raportul dintre fluxul de energie acustică nereflectat (reținut) și fluxul de energie acustică incident.

Conform relației (1.31), coeficientul de absorbție acustică este „complementul" *coeficientului de reflexie energetic.*

Disiparea energiei acustice în materialul din care este constituită suprafața de separație a mediilor este caracterizată prin coeficientul *de disipație acustică* δ și *coeficientul de transmisie acustică* τ, datorită faptului că energia acustică se propagă mai departe în cel de-al doilea mediu.

Cei trei coeficienți: de absorbție acustică α, de disipație acustică δ și de transmisie acustică τ sînt legați între ei prin relația:

$$\alpha = \delta + \tau. \tag{1.32}$$

Coeficientul de disipație acustică δ al unei suprafețe sau al unui material, la o frecvență dată, este raportul dintre fluxul de energie acustică disipat și fluxul de energie acustică incident.

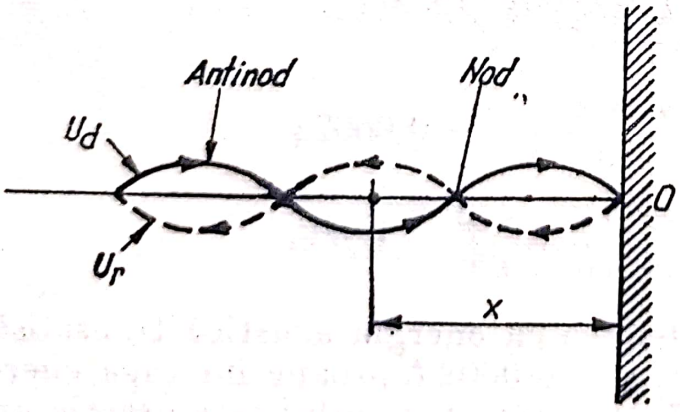


Fig. 1.7. Interferența undei directe U_d cu unda reflectată U_r.

Este de menționat faptul că în urma reflexiei undelor acustice pe un mediu obstacol situat în drumul lor, se creează unde reflectate. Undele reflectate interferează cu undele directe întrucît sensul de propagare al undei reflectate este invers sensului de propagare al undei directe, după cum se arată în fig. 1.7. Se observă că printr-un punct situat pe direcția de propagare

a undelor, vor trece în fiecare moment două unde: una directă (incidentă) și alta reflectată.

Dacă suprafața de separare a mediilor ar fi perfect reflectantă, atunci întreaga energie incidentă transportată de unda directă s-ar reflecta. În punctele distanțate de suprafața de reflexie la $\frac{\lambda}{4}$, $\frac{3\lambda}{4}$, $\frac{5\lambda}{4}$... (număr impar de sferturi de lungimi de undă) se creează noduri de presiune (presiunea acustică este nulă) și antinoduri de viteză (viteza particulei este maximă). În punctele distanțate de suprafața de reflexie la $\frac{2\lambda}{4}$, $\frac{4\lambda}{4}$, $\frac{6\lambda}{4}$ (număr par de sferturi de lungimi de undă) există antinoduri, de presiune (presiunea acustică devenind egală cu $2P$) și noduri de viteză (viteza particulei este nulă).

Prin interferarea undei incidente cu cea reflectată se produc unde staționare, existînd o serie de noduri și antinoduri de presiune și de viteză.

Distanțele dintre nodurile și antinodurile alăturate sînt egale cu $\frac{\lambda}{4}$.

Într-un asemenea sistem de unde staționare nu există o propagare de energie, ci numai un schimb local de energie, întrucît cele două unde, incidentă și reflectată, transportă fiecare aceeași cantitate de energie, dar sensurile de propagare fiind opuse, energia totală, astfel transportată, devine nulă.

În realitate nu se creează niciodată un sistem de unde staționare care constituie un caz limită neîntîlnit în practică, ci un sistem de unde „cvazistaționare", întrucît nu există suprafețe perfect rigide. În acest caz undele acustice sînt transmise dincolo de suprafața reflectantă, presiunea acustică reflectată nu mai este egală cu presiunea acustică incidentă, iar prin interferare va exista, în nodurile de presiune, o valoare a presiunii diferită de zero, depinzînd de impedanța acustică specifică a suprafeței reflectante.

1.4. Difracția undelor acustice

Cînd o undă acustică întîlnește în drumul ei un obstacol ale cărui dimensiuni sînt de același ordin de mărime sau mai mici decît lungimea de undă a sunetului incident, apar fenomene de difracție. Acest fenomen face ca energia undelor să ajungă în puncte ale mediului care se găsesc în spatele obstacolului și deci raza acustică (direcția de propagare a

Scanned with OKEN Scanner

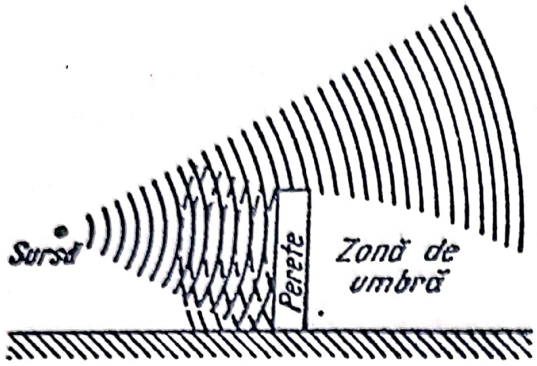


Fig. 1.8. Reflexia sunetului cu lungime de undă mică în raport cu dimensiunile unui perete care se găsește pe direcția propagării și zona de umbră ce rezultă.

energiei) nu mai este o dreaptă între sursa sonoră și punctul considerat, ci ea ocolește obstacolul (fig.1.8).

După cum se vede în fig. 1.8, prin difracție se produce schimbarea direcției de propagare a sunetului ca urmare a trecerii lui în jurul unui obstacol. Fenomenul de difracție se explică prin natura ondulatorie a sunetului. Se consideră o sursă acustică punctuală O și un ecran AB, care constituie un obstacol față de undele acustice, așezat normal pe direcția de propagare (fig. 1.9, *a*).

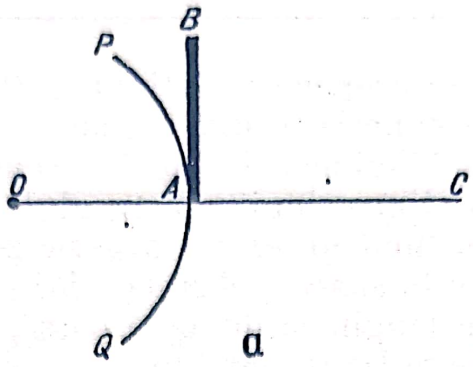
Mișcarea vibratorie se propagă în mod normal, pornind din punctul O în toate direcțiile sub formă de „raze acustice". Toate razele care întîlnesc ecranul AB ar trebui să fie oprite, astfel încît ar rezulta o regiune în care undele acustice se propagă (sub dreapta AC) și o altă regiune (deasupra dreptei AC), în care undele acustice nu se propagă.

Din figură se observă că suprafața de undă PAQ este tangentă ecranului AB. Dacă aplicăm principiul lui Huygens, trebuie să considerăm fiecare punct al acestei suprafețe (suprafața Σ în fig. 1.9, *b*) ca o nouă sursă principală de oscilații și observăm că punctele situate pe porțiunea AQ a suprafeței de undă pot trimite vibrații și în regiunea $B'A'C$, în care ar fi trebuit, datorită nepropagării, să existe o zonă lipsită de vibrații sonore. Dacă considerăm un punct M din zona $B'A'C$, undele acustice vor veni în acest punct, provenind din diferitele surse (puncte) ale suprafeței Σ, respectiv Σ'. Interferînd, ele vor determina o stare de vibrație sau repaus a mediului în punctul M menționat.

În mod similar, dacă în calea unei unde sonore PQ (fig. 1.10) se află un ecran AB, în care s-a practicat un orificiu de diametru ab, vibrațiile provenind de la sursele elementare, situate pe porțiunea ab a suprafeței de undă se propagă în toate direcțiile, putînd ajunge într-un punct M situat în afara conului, a cărui urmă pe planul figurii este COD și în care punctele sînt în vibrație din cauza propagării undelor acustice.

Este de notat un fenomen important și anume că în cazul cînd lungimea de undă este cu totul neglijabilă față de mărimea obstacolului, acesta nu schimbă drumul razelor acustice; în acest caz energia acustică

Scanned with OKEN Scanner



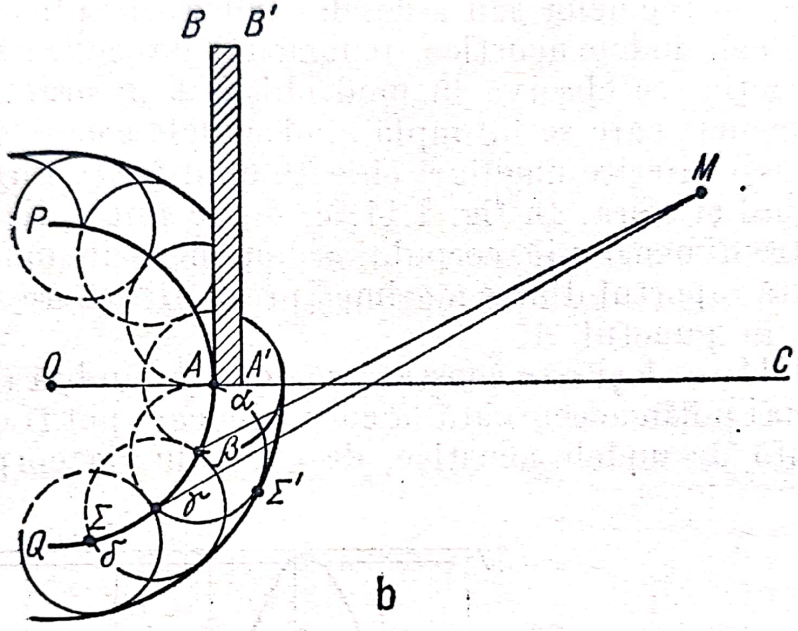


Fig. 1.9. Difracția undelor acustice în cazul întîlnirii ecranelor în calea propagării lor.

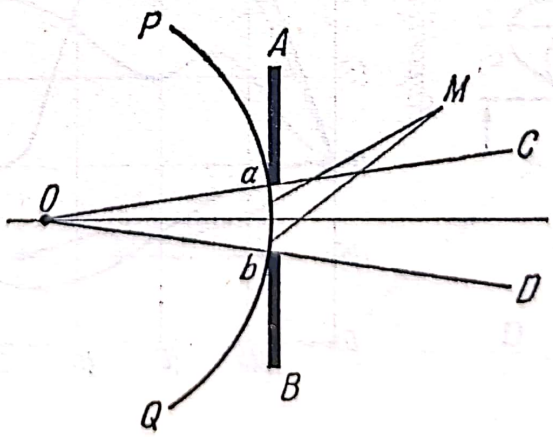


Fig. 1.10. Difracția undelor acustice prin ecrane, avînd mici deschideri practicate în ele.

Scanned with OKEN Scanner

transportată de unde se propagă rectiliniu, reflectîndu-se și refractîndu-se conform legilor cunoscute din fizică.

Dacă, dimpotrivă, lungimea de undă a sunetului care se propagă este mare în raport cu dimensiunile obstacolului, energia acustică ocolește obstacolul, astfel încît nu există practic zone de repaus începînd de la o mică depărtare în spatele obstacolului respectiv.

Dat fiind faptul că lungimea de undă corespunzătoare sunetelor de joasă frecvență este de ordinul metrilor (de exemplu, pentru un sunet cu frecvența $f = 100$ Hz, $\lambda = 3{,}40$ m), adică de același ordin de mărime cu cea a obstacolelor sau a deschiderilor din aplicațiile practice, asupra cărora cad undele acustice, fenomenul de ocolire a obstacolelor — adică difracția, se observă în mod obișnuit în practică. S-au cercetat și fenomenele care se întîmplă cînd undele sonore în propagarea lor întîlnesc sub diferite unghiuri obiecte de diferite forme, cum ar fi cilindrul, cubul și sfera. În fig. 1.11, *a*, *b* și *c* sînt indicate în abscisă raportul dintre dimensiunile corpului și lungimea de undă a sunetului, iar în ordonată raportul dintre mărimea presiunii sonore P și cea de referință P_{ref}, în punctul A.

Din fig. 1.11, *a*, *b* și *c* se constată că zona de umbră (lipsită de vibrații) este mai puțin accentuată la corpurile care pot fi ocolite cu mai multă ușurință de undele acustice, de exemplu, la corpurile sferice.

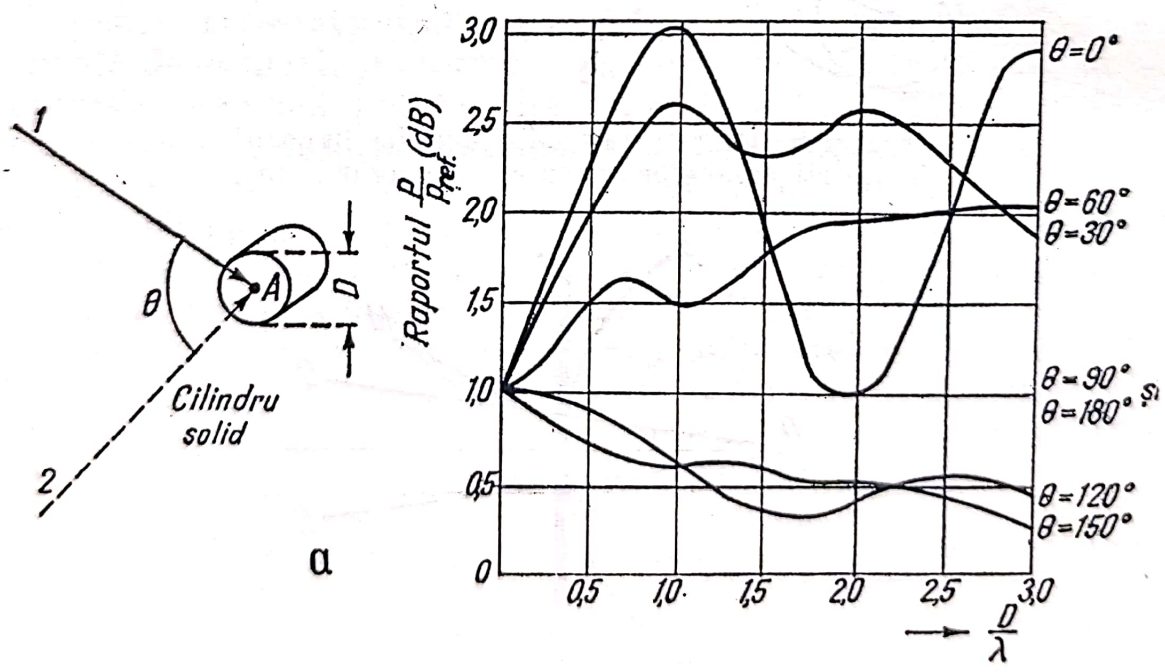


Fig. 1.11. Difracția undelor acustice în jurul conturului unor obiecte:
a — difracția undelor acustice datorită întîlnirii cu suprafața bazei unui cilindru de diametru D.

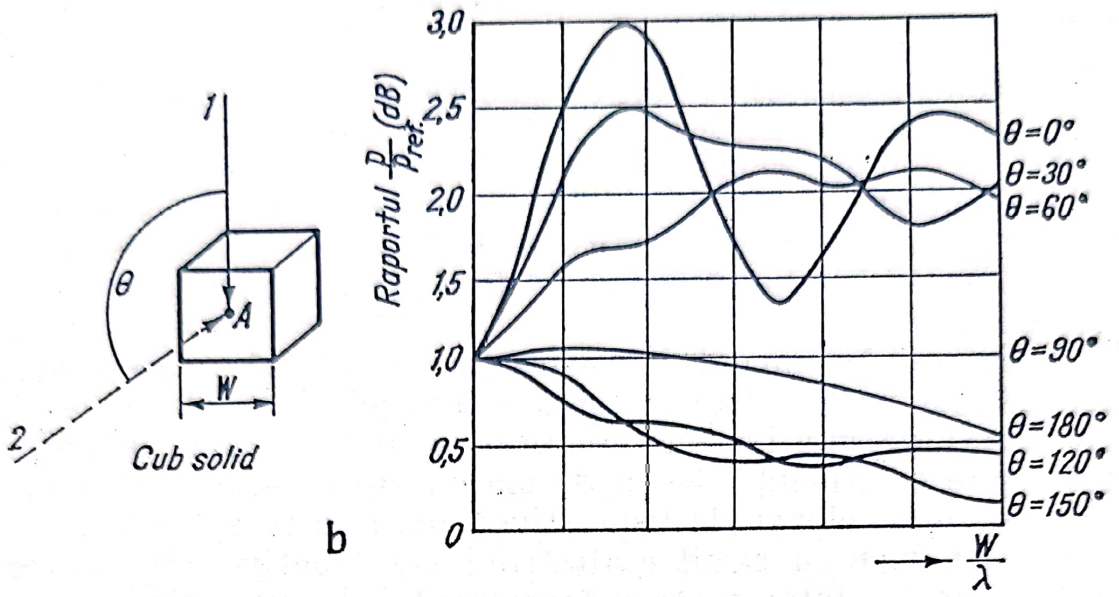


Fig. 1.11.

b — difracția undelor acustice datorită întîlnirii cu una din suprafețele unui cub de latură W.

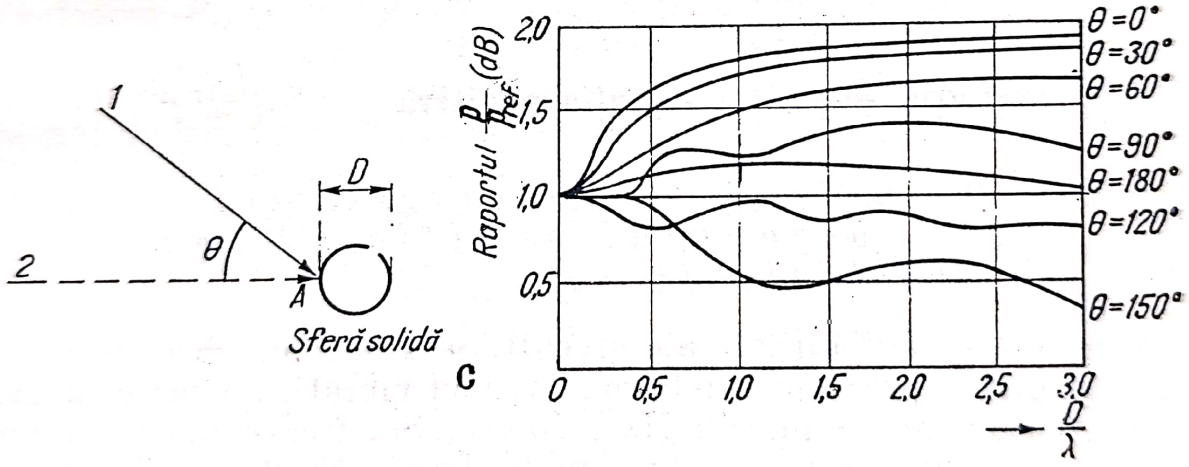


Fig. 1.11.

c — difracția undelor acustice datorită întîlnirii cu suprafața unei sfere de diametru D: *1* — unda acustică incidentă; 2 — incidența normală.

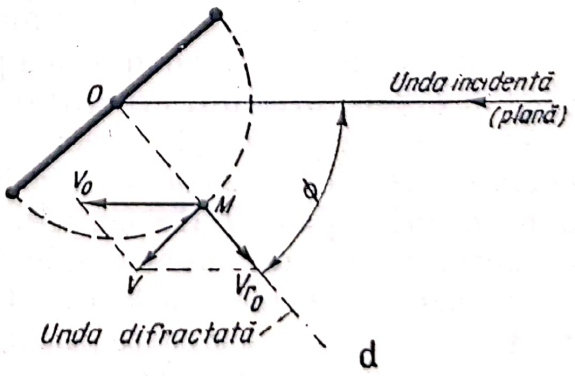


Fig. 1.11.

d — deplasarea tangențială a particulelor de aer în vecinătatea unui corp introdus într-un cîmp acustic.

În concluzie este de reținut că un corp străin introdus într-un cîmp acustic provoacă o deformare a acestuia. În vecinătatea corpului introdus în cîmpul acustic particulele de aer nu pot să se deplaseze decît tangențial (fig. 1.11, *d*) deoarece peste cîmpul acustic inițial se suprapune un alt cîmp, zis „cîmp acustic difractat", creat de corpul respectiv. Suma lor evaluată pe suprafața corpului conduce la viteză normală nulă.

Cunoașterea fenomenului de difracție permite efectuarea calculelor și măsurărilor pentru determinarea influenței obstacolelor de diferite forme asupra presiunii sonore create în jurul lor. Astfel, fenomenul de difracție are o influență destul de mare asupra caracteristicilor acustice ale microfoanelor și ale dispozitivelor de ascultare, ținîndu-se seamă de acest fenomen în cazul realizărilor constructive ale acestor aparate. O aplicație interesantă a fenomenului de difracție îl constituie și posibilitatea concentrării undelor sonore de o anumită frecvență într-un mod asemănător cu ceea ce se poate efectua în cazul lentilelor acustice, a căror eficacitate depinde de raportul dintre dimensiunile lor și lungimea de undă folosită.

1.5. Excitația sonoră și senzația auditivă

1.5.1. *Principalele caracteristici acustice ale organului auditiv. Domeniul de audibilitate*

Limitele de audibilitate ale urechii. Se știe că urechea omenească este capabilă să perceapă sub formă de sunet vibrațiile acustice în gama de frecvențe cuprinse între 16 Hz și 16 kHz. Sub frecvența de 16 Hz perceperea vibrațiilor este tactilă și nu auditivă, acesta fiind domeniul infrasunetelor. Este interesant de notat că la aceste infrafrecvențe, suprapresiunile exercitate pe membrana timpanului o fac să acționeze ca un manometru care comunică prin intermediul urechii interne, transmițînd aceste presiuni creerului, unde sînt foarte bine resimțite. Chiar pînă la 36 Hz (notare$_0$), urechea percepe lovituri distincte, a căror succesiune produce o senzație de rostogolire. Audierea notei celei mai joase a pianului $la_1 = 27$ Hz confirmă acest lucru. Continuitatea completă caracteristică unui sunet muzical nu apare înaintea notei $mi_0 = 40$ Hz.

Limita superioară a frecvențelor percepute de copii este de aproximativ 20 000 Hz. Această limită scade pe măsură ce omul înaintează în vîrstă, ajungînd ca la persoanele vîrstnice această limită să fie si-

tuată sub 12 000 Hz. Vibrațiile a căror frecvență depășește limita superioară a frecvențelor audibile sînt denumite ultrasunete.

Pragul de audibilitate. Urechea omenească nu are aceeași sensibilitate față de toate vibrațiile acustice. În intervalul domeniului audibil 16 — 16 000 Hz urechea nu percepe sub formă de sunet vibrațiile acustice decît dacă presiunea acustică a acestora, respectiv intensitatea lor, depășește o anumită valoare minimă, care este variabilă funcție de frecvență.

Pentru un ascultător normal otologic (persoană de vîrstă cuprinsă între 18 și 25 ani cu auz normal), la frecvența de 1 000 Hz valoarea minimă a intensității acustice, sub care vibrațiile nu mai sînt percepute, este $I_{ref} = 10^{-16}\ W/cm^2$, corespunzînd unei presiuni acustice de $2 \cdot 10^{-4}$ μbar ($2 \cdot 10^{-4}$ dyn/cm^2). Această intensitate acustică reprezintă *pragul de audibilitate.*

Cînd vibrațiile acustice au frecvențe ce diferă de 1 000 Hz, acest prag de audibilitate se schimbă ca valoare. De exemplu, pragul de audibilitate crește continuu ca valoare către frecvențele joase, ajungînd la valoarea $P_{ref\ (50\ Hz)} = 10^{-1}$ μbar pentru frecvența de 50 Hz, față de valoarea $P_{ref\ (1\ 000\ Hz)} = 2 \cdot 10^{-4}$ μbar, pentru frecvența de 1 000 Hz. Un lucru similar, totuși mai puțin accentuat, se petrece și la frecvențele mai înalte, de exemplu la $f =$ 10 000 Hz, unde valoarea pragului crește la $P_{ref\ (10\ 000\ Hz)} = 0{,}7 \cdot 10^{-3}$ μbar.

Valoarea pragului de $2 \cdot 10^{-4}$ μbar, stabilită prin norme, poate fi socotită ca orientativă, întrucît în domeniul de frecvențe de maximă sensibilitate a urechii, care este cuprins între 1 și 5 kHz, organul auditiv uman reacționează și la presiuni mai mici, de exemplu, de 1×10^{-4} μbar, după cum s-a constatat experimental.

Un lucru important de menționat este faptul că dacă sensibilitatea urechii ar fi și mai mare, atunci organul auzului nu ar mai fi de folos omului, întrucît ar percepe și mișcarea browniană a moleculelor aerului și omul ar fi incontinuu deranjat de aceste zgomote perturbatoare înconjurătoare.

Totuși, urechea rămîne un organ extrem de sensibil față de presiuni, putînd detecta schimbări ale presiunilor mai mici de $1:10^4$ din presiunea atmosferică. Aceasta reprezintă o foarte mică variație, de ordinul diferenței între vidul absolut și presiunea reziduală într-un tub electronic în care vidul este obținut prin mijloacele cele mai moderne.

Pragul de durere. Cînd un sunet este prea intens, urechea umană percepe o senzație de presiune care se transformă apoi într-o senzație

Scanned with OKEN Scanner

dureroasă. Această senzație nu este aceeași pentru toate frecvențele audibile.

Curba care unește punctele de presiune corespunzătoare acestei senzații dureroase reprezintă *limita superioară a audibilității*. Pentru frecvențele foarte joase, pragul senzației dureroase nu apare decît dacă intensitatea sunetului este relativ mare. Cu cît crește frecvența sunetului, cu atît mai repede este atins și pragul senzației dureroase. Pentru frecvența de 20 000 Hz senzația produsă este totdeauna dureroasă, aflîndu-ne chiar la limita superioară a audibilității.

Pentru un ascultător normal otologic și pentru frecvența de 1 000 Hz, limita superioară a presiunii acustice eficace peste care senzația auditivă se transformă într-o senzație de durere este de aproximativ 200 μbar (120 dB), acesteia corespunzîndu-i o intensitate acustică de 10^{-4} W/cm^2.

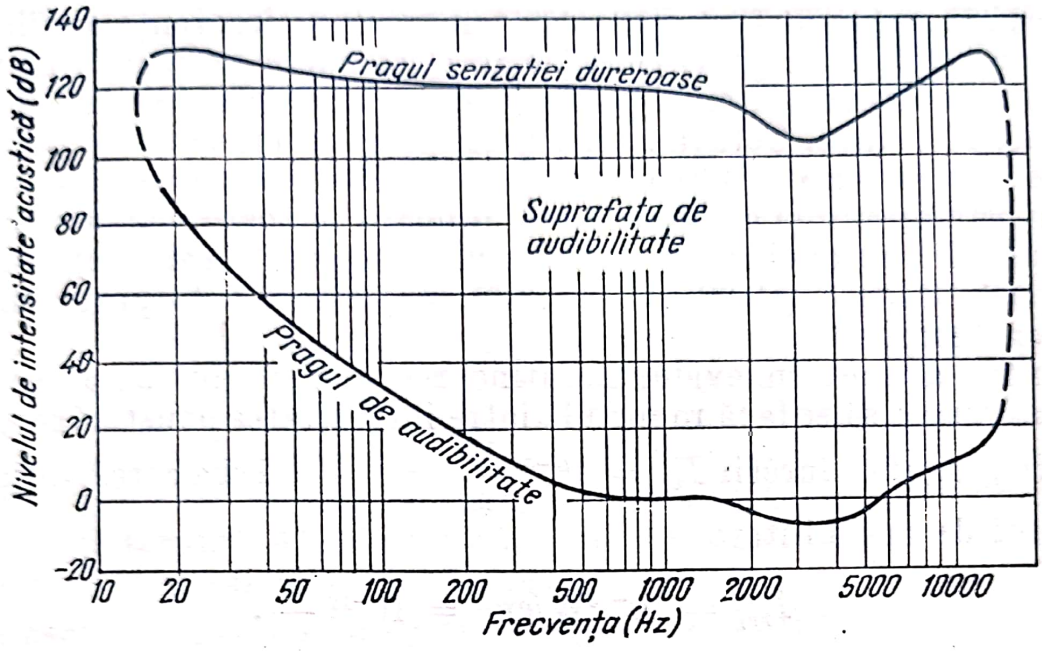
Trebuie reținut faptul că față de presiunea atmosferică, o variație de 1% din această presiune, la o frecvență audibilă, poate deteriora întregul mecanism al auditiei.

Suprafața de audibilitate. După cum s-a arătat, un ascultător normal otologic, percepe ca sunete orice vibrație acustică a cărei frecvență se găsește cuprinsă între 16 și 16 000 Hz; în ceea ce privește intensitatea vibrației, ea trebuie să fie, de asemenea, cuprinsă între anumite limite. Limitele acestea, inferioară și superioară, cunoscute sub numele de *prag de audibilitate* și *prag de durere*, sînt variabile cu frecvența. Pragul de audibilitate variază mult cu frecvența, crescînd continuu spre frecvențele joase și mai puțin spre cele înalte din spectrul audibil. Într-adevăr, cercetîndu-se mecanismul auditiei, s-a constatat că lanțul de oscioare al urechii medii nu mai funcționează la frecvențele joase ca o pîrghie cotită, ci oscilează pe direcția minimei rezistențe, iar sensibilitatea urechii descrește în mod considerabil. Acest lucru este necesar deoarece circulația sîngelui, bătăile inimii și oscilațiile de joasă frecvență ale corpului omenesc, ale căror frecvențe sînt cuprinse între 10 și 16 Hz, trebuie să rămînă inaudibile.

Pe de altă parte, spre frecvențele înalte, inerția în mișcarea oscioarelor auzului se face din ce în ce mai simțită și sensibilitatea urechii scade destul de mult. Și această scădere a sensibilității are o explicație fiziologică, în sensul că ea apără urechea împotriva componentelor sonore înalte, perturbatoare, radiate de diferite surse de sunet înconjurătoare.

Întocmai ca și pragul de audibilitate, pragul senzației dureroase variază cu frecvența vibrațiilor acustice însă, comparativ, această variație este mult mai puțin accentuată.

Scanned with OKEN Scanner



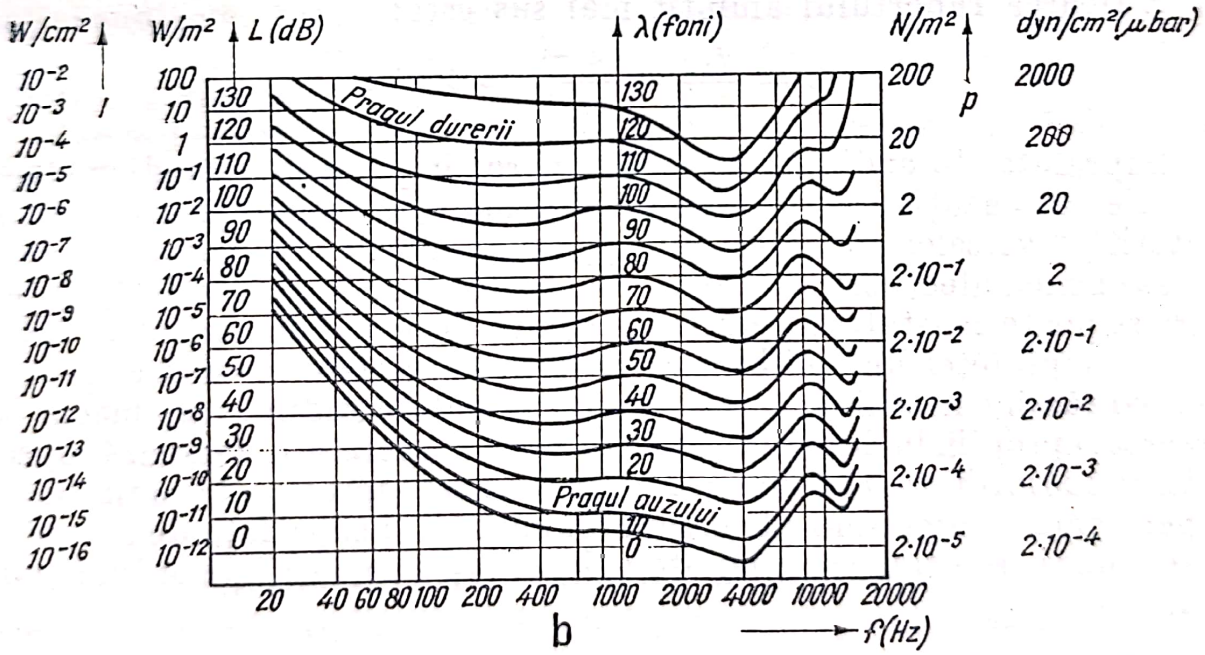


Fig. 1.12. Suprafața și domeniul de audibilitate pentru urechea umană:
a — delimitarea suprafeței de audibilitate a urechii umane; *b* — domeniul de audibilitate limitat de pragurile de audibilitate și de durere.

Suprafața de audibilitate pentru urechea umană se compune din regiunea cuprinsă între curbele care definesc pragul de audibilitate și pragul de durere, ca funcții de frecvență (fig. 1.12, *a*,*b*).

Trebuie remarcat faptul că atît domeniul de frecvențe audibile cît și domeniul de intensități audibile au o întindere extrem de mare. Ca domeniu de frecvențe, omul poate percepe sunete care se întind într-o gamă de 10 octave. Octava se definește ca fiind intervalul dintre două sunete de frecvențe diferite, f_1 și f_2, legate prin relația $f_2 = 2 f_1$. *Octava* este primul și cel mai comun interval în toate scările muzicale. Submultiplii octavei sînt: „semitonul temperat", care reprezintă a 12-a parte dintr-o octavă și „centul", care este a suta parte dintr-un semiton temperat.

Pentru a pune în evidență întinderea domeniului de intensități, este interesant să se facă raportul dintre intensitatea acustică corespunzătoare pragului durerii $I_{pd} = 10^{-4} \frac{W}{cm^2} = 1 \frac{W}{m^2}$ și cea corespunzătoare pragului de audibilitate

$$I_{ref} = 10^{-16} W/cm^2 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}.$$

Valoarea raportului amintit mai sus este:

$$\sigma = \frac{I_{pd}}{I_{ref}} = \frac{10^{-4}}{10^{-16}} = 10^{12} . \qquad (1.33)$$

Suprafața de audibilitate joacă un rol important în audiometrie. Se știe că senzația auditivă poate diminua sau dispare printre altele, datorită diverselor afecțiuni ale organului auditiv. La persoanele care au asemenea afecțiuni, suprafața de audibilitate se reduce față de cea care se poate constata la persoanele cu auz normal. Fenomenul de reducere a suprafeței de audibilitate se petrece în felul următor: pragul durerii rămîne neschimbat, în timp ce pragul de audibilitate începe să crească, apropiindu-se de cel al durerii; prin aceasta se micșorează suprafața de audibilitate. Făcîndu-se raportul dintre suprafața de audibilitate a persoanei cu afecțiuni ale organului auzului și suprafața de audibilitate a unui ascultător normal otologic, se trag concluzii de ordin medical.

1.5.2. *Corelația dintre excitație și senzația auditivă*

Cînd o vibrație radiată de un corp oarecare se propagă prin aer, diferitele particule ale acestui mediu oscilează, adică sînt comprimate și destinse în mod alternativ. Presiunea într-un punct al mediului crește

și descrește în ritmul vibrației; membrana timpanului urmărește cadența aceasta și o transmite mai departe prin intermediul oscioarelor din urechea medie la urechea internă și apoi, prin sistemul nervos, la scoarța cerebrală.

Undele sonore constituie ceea ce în mod obișnuit se numește *sunetul fizic* sau excitația sonoră. Sunetul fizic creează în aparatul auditiv, prin excitarea terminațiilor nervilor auditivi, influxurile nervoase care dau naștere în scoarța creerului la ceea ce numim *senzație auditivă.*

Între intensitatea sonoră a sunetului fizic excitator și tăria audiției există o strînsă legătură, întrucît la o anumită amplitudine a presiunii sonore, care se aplică membranei timpanului, corespunde o senzație auditivă de o anumită tărie. Această *tărie* reprezintă tocmai însușirea senzației auditive care permite ordonarea sunetelor percepute de la „slab" la „puternic". Altfel exprimat *tăria unui sunet* este corespondentul subiectiv al mărimii obiective *intensitatea sonoră.*

De asemenea, la o anumită frecvență a presiunii sonore excitatoare, aplicată membranei timpanului, corespunde o anumită înălțime a senzației auditive. Această *înălțime* este de fapt o însușire a senzației auditive, după care sunetele percepute pot fi ordonate pe o scară de la sunete „joase" la sunete „înalte".

Mărimile care au fost amintite: intensitatea sunetului fizic, tăria senzației auditive și înălțimea (frecvența) sunetului excitator exprimate, respectiv sub forma de nivel de intensitate (L_I), nivel de tărie (Λ) și frecvență (f) sînt de fapt niște variabile legate printr-o funcție caracteristică fiecărei persoane în parte.

Legea fiziologică Weber — Fechner. Legea Weber-Fechner indică ce relație există între excitația acustică, care constituie elementul fizic, și senzația auditivă produsă (elementul fiziologic). Cunoscîndu-se faptul că un sunet perceput apare cu atît mai puternic cu cît intensitatea acustică a lui este mai mare, s-a căutat să se determine legătura care există între intensitatea sunetului excitator și tăria audiției. Din cercetările efectuate s-a constatat că legătura dintre ele este următoarea: senzația auditivă variază cu logaritmul excitației.

Notîndu-se cu I intensitatea excitației (intensitatea acustică) și cu N intensitatea senzației (tăria sunetului), dacă I variază cu ΔI, atunci N va trebui să varieze cu ΔN. Se constată în mod practic că urechea nu comunică creerului un ΔN decît pentru o anumită fracțiune din I, adică pentru un ΔI suficient de mare.

Scanned with OKEN Scanner

Această creștere minimă perceptibilă ΔI a excitației este proporțională cu intensitatea excitației I:

$$\frac{\Delta I}{\Delta N} = KI, \tag{1.34}$$

K fiind factorul de proporționalitate.

Din această relație se deduce:

$$\Delta N = \frac{1}{K}\frac{\Delta I}{I}. \tag{1.35}$$

Dacă se admite că creșterile minime perceptibile ΔN ale senzației sonore sînt egale, se poate trece la integrarea relației (1.35) pusă sub forma:

$$\mathrm{d}N = \frac{1}{K}\frac{\mathrm{d}I}{I}. \tag{1.36}$$

Deci:

$$N - N_0 = \frac{1}{K}(\ln I - \ln I_0). \tag{1.37}$$

Trecînd de la logaritmii naturali la cei zecimali, prin transformarea

$$\frac{1}{K}\ln I = \frac{1}{K}\ln 10 \lg I = \frac{2{,}30258}{K}\lg I = C \lg I, \tag{1.38}$$

unde s-a notat cu $C = \frac{2{,}30258}{K}$, se obține relația:

$$N - N_0 = C(\lg I - \lg I_0), \tag{1.39}$$

care exprimă faptul că intensitatea senzației percepute crește cu logaritmul intensității excitației sunetului fizic. I_0 reprezintă o constantă de integrare. Pentru a elimina constanta de integrare I_0, se poate forma diferența a două intensități de senzație fiziologice N_1 și N_2, așa cum corespund ele intensităților de excitație fizică I_1 și I_2, obținîndu-se relația:

$$N_2 - N_1 = C(\lg I_2 - \lg I_1) = C \lg \frac{I_2}{I_1}. \tag{1.40}$$

care exprimă și ea legea de percepere a excitațiilor.

Belul, decibelul și nivelele acustice. Făcînd abstracție de avantajele pe care le oferă în celelalte domenii de activitate utilizarea unei scări logaritmice, în acustică aceasta caracterizează unele proprietăți ale urechii

umane. Într-adevăr, dacă se consideră domeniul de audibilitate al urechii limitat de pragul de audibilitate și de cel de durere, se observă că limita de variație a intensității acustice este foarte mare (între 10^{-12} W/m² și 1 — 100 W/m²). Se deduce de aici că variațiile intensităților acustice nu pot fi evaluate decît prin numere conținînd foarte multe cifre. De aceea se și preferă, pentru simplificare, exprimarea intensității și tăriei sonore prin nivelele de intensitate și de tărie, măsurate în unități logaritmice, în beli, respectiv în decibeli și în foni.

Atît belul cît și decibelul sînt unități care permit exprimarea diferențelor de nivel într-un mod convenabil pentru calculele efectuate în acustică și electroacustică.

Prin definiție, ecartul de nivel a două puteri acustice sau intensități acustice este de N beli cînd:

$$N = \lg \frac{\mathcal{P}_{a2}}{\mathcal{P}_{a1}} \text{ sau } \frac{\mathcal{P}_{a2}}{\mathcal{P}_{a1}} = 10^N. \tag{1.41}$$

și

$$N = \lg \frac{I_2}{I_1} \text{ sau } \frac{I_2}{I_1} = 10^N. \tag{1.42}$$

Decibelul este a zecea parte a belului, în consecință, diferența de nivel între două puteri sau intensități este de n decibeli cînd

$$n = 10 \lg \frac{\mathcal{P}_{a2}}{\mathcal{P}_{a1}} \text{ sau } \frac{\mathcal{P}_{a2}}{\mathcal{P}_{a1}} = 10^{\frac{n}{10}}; \tag{1.43}$$

$$n = 10 \lg \frac{I_2}{I_1} \text{ sau } \frac{I_2}{I_1} = 10^{\frac{n}{10}}. \tag{1.44}$$

În § 1.2.7 s-au definit nivelele de presiune acustică L, de intensitate acustică L_I și de putere acustică $L_{\mathcal{P}}$.

Nivelul de tărie Λ reprezintă o mărime care se exprimă în foni și care corespunde mărimii fizice *nivel de intensitate acustică*. Nivelul de tărie se definește ca fiind de douăzeci de ori logaritmul zecimal al raportului dintre presiunea acustică eficace (P_{ef}) a unui sunet pur de 1 000 Hz, apreciată de un ascultător normal otologic ca avînd o intensitate egală cu aceea a sunetului considerat și presiunea acustică eficace de referință (P_{ref}). Nivelul de tărie se calculează cu relația:

$$\Lambda = 20 \lg \frac{P_{ef}}{P_{ref}} \text{ [foni]}. \tag{1.45}$$

Din definiție rezultă că la frecvența de 1 000 Hz nivelul de tărie *fonul* (mărime subiectivă) este egal cu nivelul de presiune *decibelul* (mărime obiectivă). Nivelul de tărie, exprimat în foni, reprezintă de fapt nivelul de presiune al unui sunet pur de 1 000 Hz, care sună la fel de tare ca și sunetul considerat. Dacă, de exemplu, un sunet pur de 1 000 Hz, avînd un nivel de intensitate acustică de 75 dB, sună la fel de tare ca un sunet dat de un difuzor, se poate spune că sunetul difuzorului respectiv are un nivel de tărie de 75 foni.

Curbele binecunoscute de egal nivel de tărie, denumite „Fletcher-Munson" (curbe de egal nivel fiziologic, cuprinse între cele două praguri limitatoare ale posibilităților de auz ale urechii omenești) indică foarte clar influența pe care o are frecvența asupra intensității senzației auditive. Curbele rezultate ca urmare a numeroaselor cercetări reprezintă, de fapt, trasarea familiei de curbe a nivelului de intensitate acustică L_I, în funcție de frecvență, pentru diferite niveluri de tărie Λ. Aceste curbe izofone ($L_I = F(f)$ pentru $\Lambda = \text{const}$) sînt trasate din 10 în 10 foni. Curbele prezentate în fig. 1.13 sînt cele indicate în recomandarea ISO, R226-1961 și din ele se deduce că, într-adevăr, la frecvența de 1 000 Hz nivelul de tărie, în foni, este egal cu nivelul de intensitate sonoră, în decibeli; la alte frecvențe, însă, de exemplu, la cele joase, nu mai există o asemenea egalitate. Acest lucru este valabil și pentru frecvențele înalte.

Din tabelul 1.2, care reprezintă valorile cuprinse în curbele de egal nivel de tărie, rezultă corespondența dintre nivelele de tărie indicate în foni și nivelele de intensitate acustică indicate în decibeli, pentru diferite frecvențe.

Curbele de egală tărie au o mare importanță în tehnica măsurărilor nivelului de tărie. Instalațiile de măsură, utilizate pentru a putea furniza informații în concordanță cu cele date de urechea omenească, trebuie să posede caracteristici asemănătoare cu caracteristicile sensibilității urechii. Aceste caracteristici reproduc curbele de egală tărie sonoră ale urechii.

De multe ori, în aplicațiile curente se mai utilizează și familia de curbe care indică nivelul de tărie Λ în funcție de frecvență, pentru diferite nivele de intensitate (fig. 1.14).

Unitatea de tărie, sonul. În cele expuse mai sus s-a arătat că tăria sonoră reprezintă caracterul senzației auditive legat de presiunea acustică a unui sunet, care permite ordonarea sunetelor pe o scară de la „slabe" la „puternice".

Scanned with OKEN Scanner

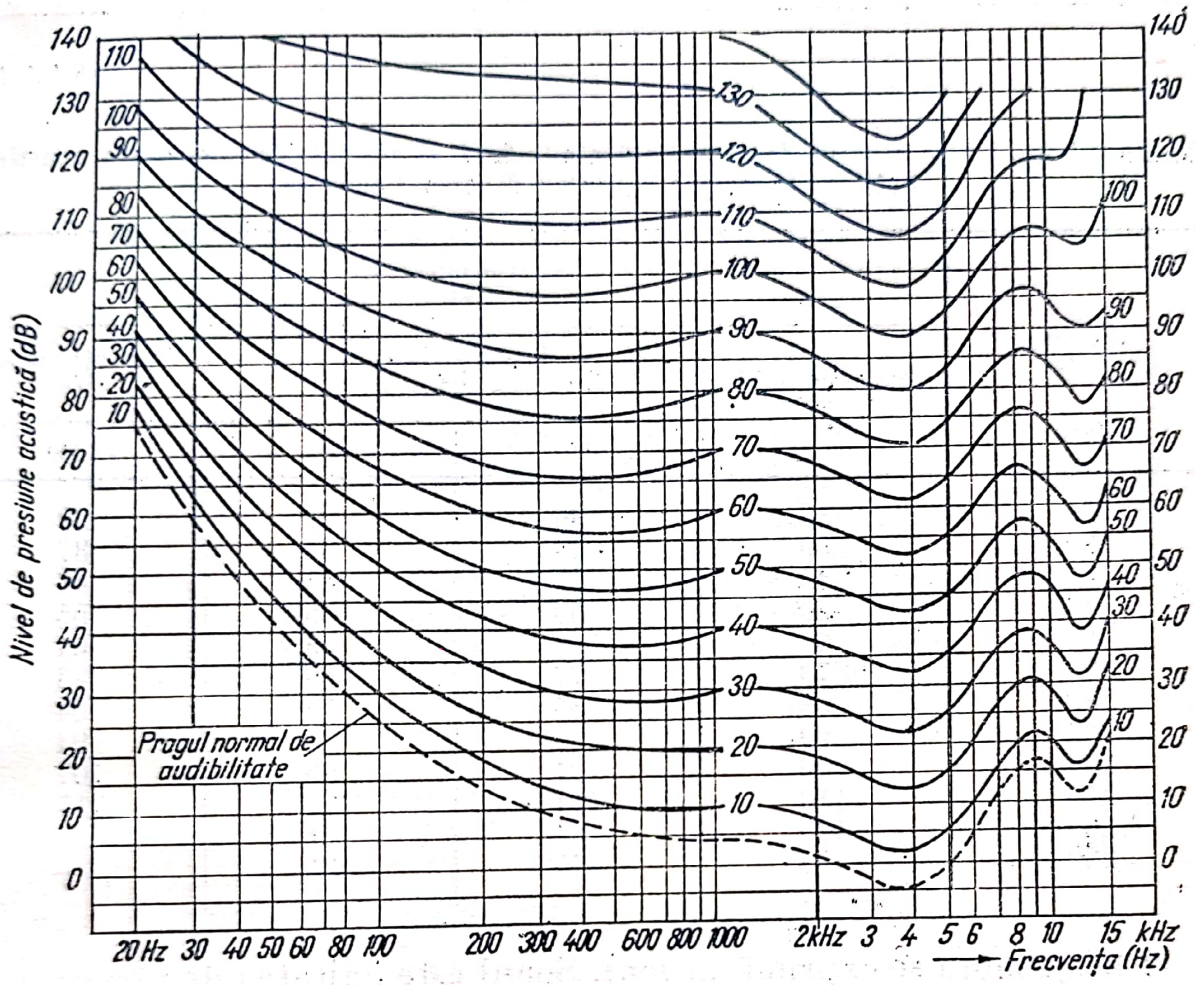


Fig. 1.13. Curbele de egal nivel de tărie, conform ISO.

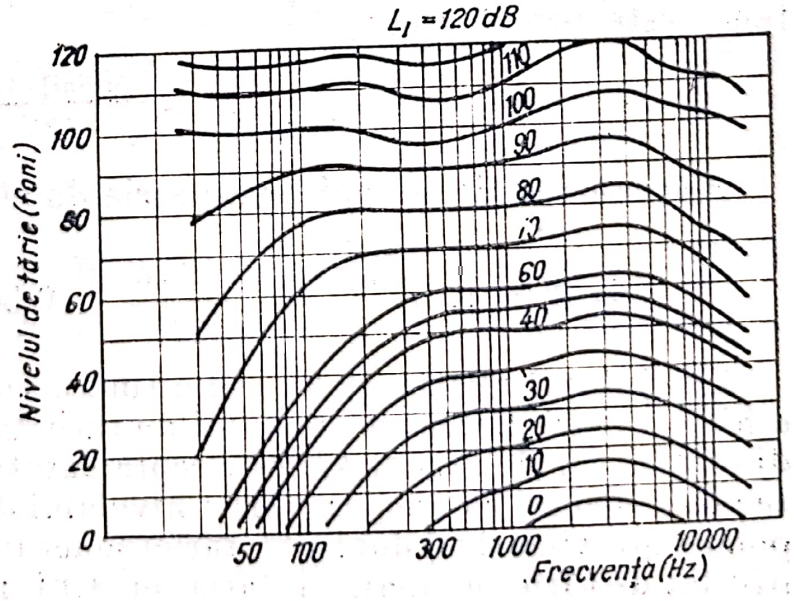


Fig. 1.14. Nivelul de tărie în funcție de frecvență pentru diferite nivele de intensitate L_I.

Tabelul 1.2

Corespondența dintre nivelele de tărie, indicate în foni, și nivelele de intensitate acustică, indicate în decibeli, pentru diverse frecvențe

Nivel de tărie foni	Nivel de intensitate dB			
	Frecvențe medii 1 000 Hz	Frecvențe joase, Hz		Frecvențe înalte, Hz
		100	200	10 000
20	20	36	27	29
30	30	44	34	37
40	40	51	43	46
50	50	59	50	55
60	60	68	59	64
70	70	77	69	73
80	80	85	78	84
90	90	94	88	94
100	100	104	99	107
110	110	114	110	117
120	120	124	121	—
130	130	135	134	—

Tăria sonoră se exprimă în soni. Sonul este unitatea de tărie a unui sunet având o frecvență de 1 000 Hz și un nivel de tărie de 40 foni.

Relația între tăria N, exprimată în soni, și nivelul de tărie Λ, în foni, este următoarea:

$$N[\text{soni}] = 2^{\frac{\Lambda[\text{foni}]-40}{10}}. \tag{1.46}$$

Această relație se mai poate scrie după cum urmează:

$$\lg N = \lg 2^{\frac{\Lambda-40}{10}} = \frac{\Lambda - 40}{10} \times 0{,}30 = 0{,}03\,\Lambda - 1{,}2. \tag{1.47}$$

Cu ajutorul relației (1.47), admițînd o scară logaritmică a tăriei în soni și o scară liniară a nivelului de tărie în foni, s-a trasat diagrama din fig. 1.15. Relația (1.47) este reprezentată printr-o dreaptă din care se poate deduce că unei creșteri a nivelului de tărie cu 10 foni îi corespunde aproximativ o dublare a tăriei sunetului perceput. Relația dintre nivelul de tărie, în foni, și tăria în soni ilustrată prin dreapta din

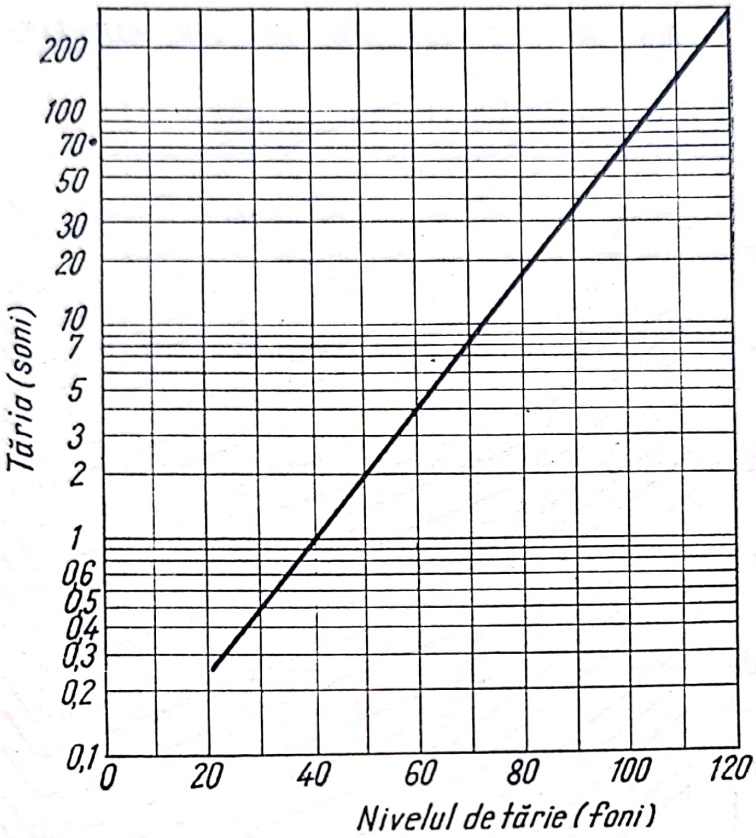


Fig. 1.15. Relația dintre nivelul de tărie, în foni, și tăria, în soni

fig. 1.15, corespunde recomandării R 131-1959 a Organizației Internaționale de Standarde.

Conform unei recomandări mai recente ISO nr. 675, în care se indică procedeul pentru calcularea nivelului de tărie al sunetelor, se adoptă nomograma indicată în fig. 1.16, *a*. Această nomogramă, dedusă tot pe baza relației (1.46), transformată în:

$$\Lambda_{[\text{foni}]} = 40 + 10 \log_2 N_{[\text{soni}]} \qquad (1.48)$$

reprezintă curbele de egal nivel de presiune în funcție de frecvență și tărie.

Cu ajutorul curbelor pentru deducerea indicelui de tărie (fig. 1.16, *a*), și a corespondenței dintre foni și soni (fig. 1.16, *b*), atunci cînd se cunosc nivelele de intensitate acustică în diferite benzi (din analiza spectrală), se pot determina nivelele de tărie, în foni, pentru diferite zgomote. Conform acestui procedeu, imaginat de Stevens, nivelele de

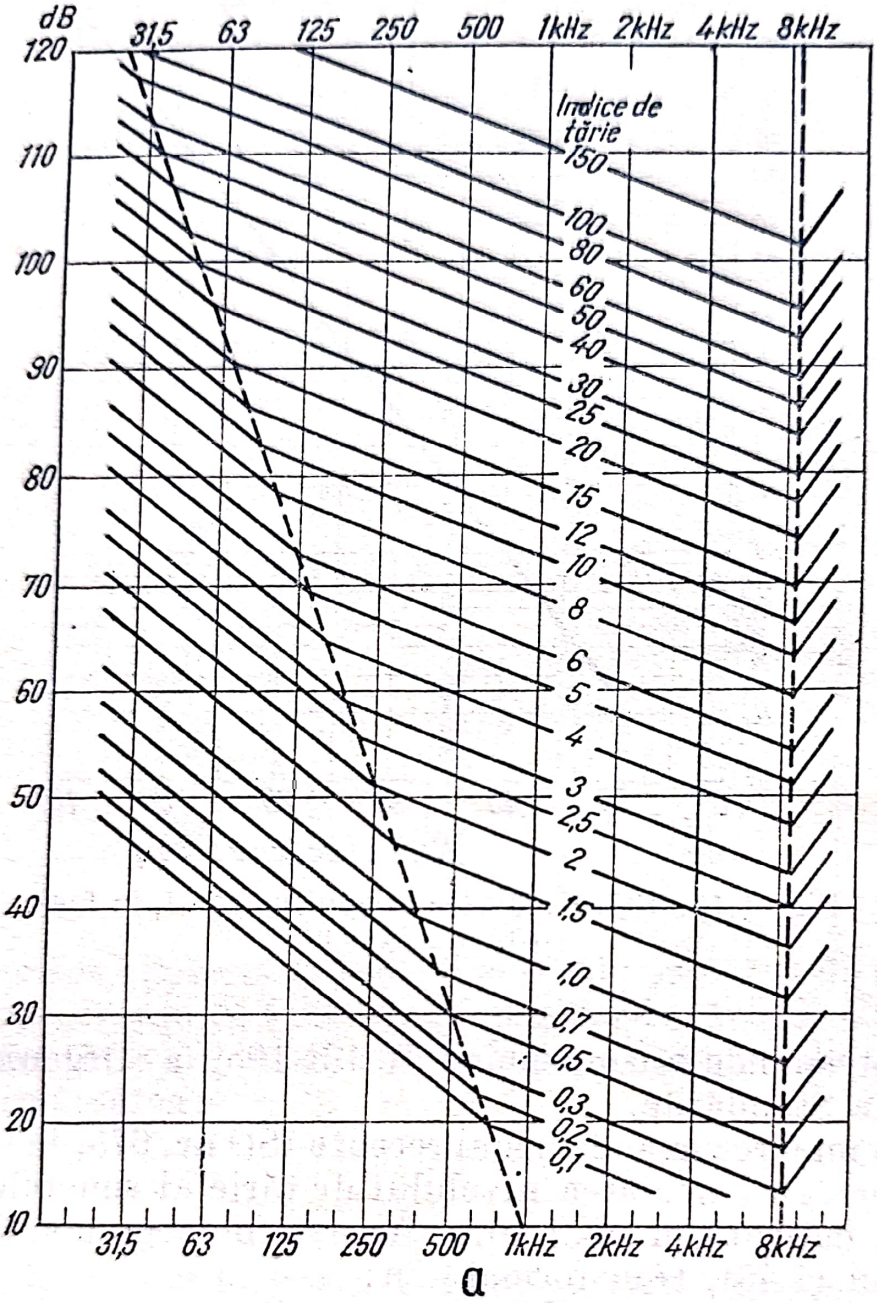


Fig. 1.16. Nomograme pentru calculul indicelui de tărie:

a — diagrama lui Stevens pentru deducerea indicelui de tărie acustică.

intensitate acustică, măsurate în intervalul de 1 — 1/3 octavă, sînt transformate în indici de tărie acustică și însumate conform relației:

$$N_t = N_m + K\left(\sum N - N_m\right), \qquad (1.49)$$

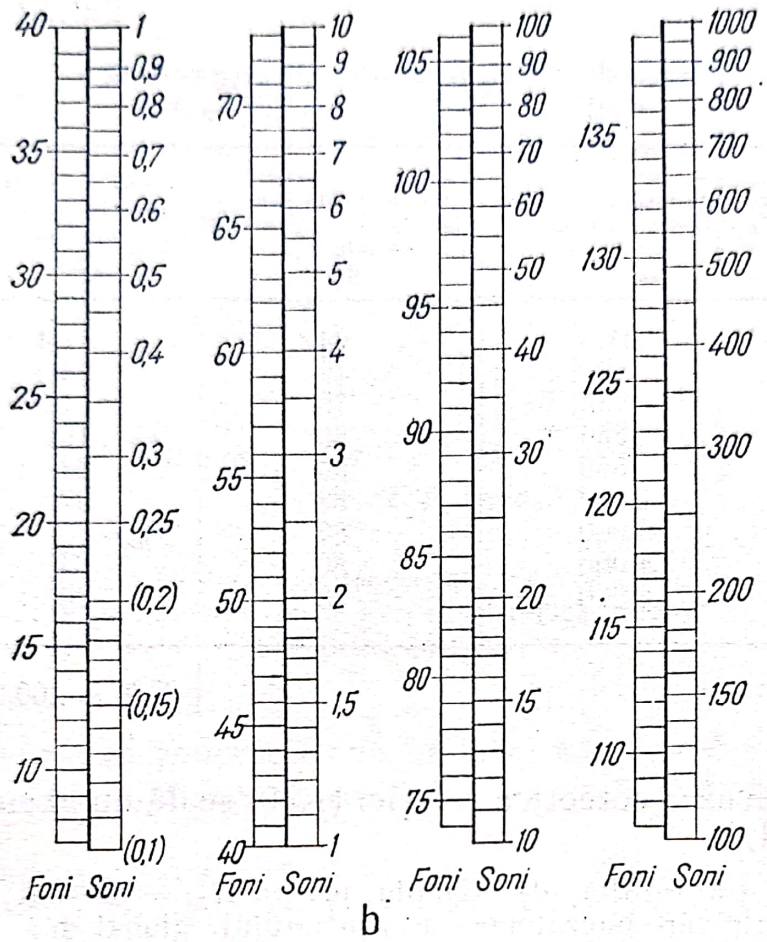


Fig. 1.16:
b — corespondența dintre fonj și soni.

în care: N_t este tăria, în soni, corespunzătoare zgomotului global;

N_m — tăria maximă obținută într-o bandă de frecvențe (interval 1—1/3 octavă);

$\sum N$ — suma tăriilor din toate benzile de frecvențe în care s-a efectuat analiza;

K — un coeficient care depinde de condițiile în care se efectuează analiza (dacă analiza s-a efectuat în benzi de 1 octavă $K = 0{,}30$; pentru alte intervale, 1/2 octavă și 1/3 octavă, valorile lui K sînt 0,18 și 0,13).

Tabelul 1.3

Exemplu de calcul pentru aplicarea corectă a relației $N_t = N_m + K(\Sigma N - N_m)$

Frecvența medie a benzii (1 octavă; $K = 0{,}3$) Hz	Nivelul de intensitate în bandă, raportat la intensitatea de referință dB	Indicele de tărie determinat din nomogramă soni
31,5	64	1,4
63	72	3,9
125	79	4,9
250	86	16
500	90	27
1 000	88	30
2 000	87	$N_m = 33$
4 000	80	24
8 000	73	20
		$\Sigma N = 160{,}2$

Pentru aplicarea corectă a relației (1.49) se dă un exemplu de calcul în tabelul 1.3.

Din tabelul 1.3 rezultă, de exemplu, pentru $N_m = 33$ soni; $K = 0{,}30$ și cu $N = 160{,}2$ o tărie corespunzătoare a zgomotului global de:

$N_t = 33 + 0{,}3 \cdot (160{,}2 - 33) = 33 + 0{,}3 \cdot 127{,}2 = 71{,}16$ soni.

Corespunzător valorii de 71,16 soni, din fig. 1.16, *b* rezultă un nivel de tărie de 102 foni.

Prin adoptarea unității de tărie, sonul, există posibilitatea de a se calcula cu ușurință nivelul de tărie produs de mai multe surse sonore care radiază simultan, dacă se cunosc nivelele de tărie corespunzătoare fiecărei surse în parte, *întrucît tăriile acustice în soni pot fi însumate*. De exemplu, dacă o sursă sonoră produce într-un punct de un nivel 83 foni și o a doua sursă produce în același punct un nivel de 89 foni, tăria corespunzătoare primei surse este de 19,5 soni, iar tăria corespunzătoare celei de-a doua sursă este de 30 soni (conform fig. 1.16, *b*). Însumînd aritmetic cele două valori exprimate în soni, rezultă tăria totală de 49,5 soni, căreia îi corespunde un nivel de tărie de 96,3 foni $\approx$ 96 foni. Metoda de calcul arătată este valabilă în cazul zgomotelor ale căror spectre sînt diferite între ele.

Mărimea fiziologică melul. Experiența a arătat că este greșit să se considere că există o identitate perfectă între frecvența sunetului fizic

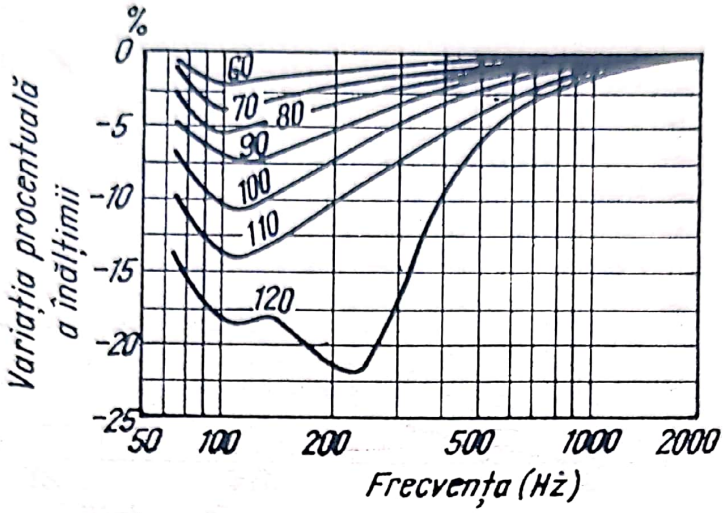


Fig. 1.17. Variația procentuală a înălțimii în funcție de frecvență pentru diferite valori ale nivelului de tărie.

și înălțimea senzației sonore. Experimental s-a dovedit că înălțimea nu este funcție numai de frecvență, ci mai depinde și de nivelul de presiune sonoră.

Atunci cînd crește nivelul tăriei senzației auditive, s-a constatat că înălțimea senzației descrește cu un procent destul de mare din frecvența corespunzătoare. În fig. 1.17 se prezintă această variație procentuală a înălțimii senzației în funcție de frecvență pentru diverse creșteri ale nivelului de tărie, exprimat în foni.

Se deduce din cele de mai înainte că nu există o corelație simplă între înălțimea sunetului și frecvența lui; aceasta o dovedește și faptul constatat că două vibrații acustice de frecvențe egale, dar de nivele de intensități acustice diferite, nu sînt percepute ca sunete avînd aceeași înălțime.

Pentru a se putea explica mai clar dependența dintre înălțimea senzației sonore și frecvența sunetului, s-a introdus o mărime fiziologică, o unitate de înălțime sonoră, denumită *mel*. Prin definiție, un sunet pur, avînd frecvența de 1 000 Hz, situat cu 40 dB deasupra pragului de audiție al unui ascultător normal otologic, are o înălțime de 1 000 meli (cuvîntul mel provine din cuvîntul englez „Melody"). Așadar, înălțimea unui sunet, care pare de n ori mai înalt decît cel corespunzător unui mel, poate fi exprimat prin n meli.

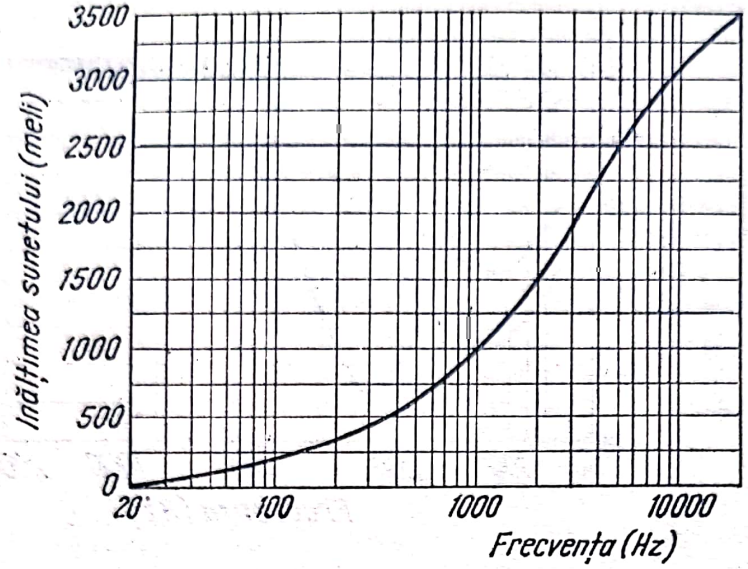


Fig. 1.18. Dependența dintre înălțimea percepută auditiv și frecvența sursei sonore.

În fig. 1.18 se arată grafic dependența dintre înălțimea percepută auditiv și frecvența sursei sonore. Din diagramă se observă că numai pentru o mică bandă de frecvențe, cuprinsă între 1 000 și 5 000 Hz (domeniul de mare sensibilitate a urechii) există o proporționalitate între înălțime și frecvență. În domeniul frecvențelor joase, se constată că nu mai există această proporționalitate între înălțimea și frecvența unui sunet.

1.6. Particularitățile urechii

1.6.1. *Neliniaritatea organului auditiv*

S-a dovedit, experimental, că dacă se aplică urechii un sunet pur și dacă acest sunet depășește un anumit nivel de intesitate, senzațiile generate sînt cele ale unui sunet pur însoțit de armonici. Experiențe recente au confirmat că în cazul unui sunet pur corespunzător unui nivel de tărie de 25 foni (șoaptă) poate fi dovedită prezența în ureche a cinci armonici. Pe de altă parte, s-a dovedit că dacă sînt aplicate simultan urechii două sunete pure intense, ele nu se mai aud singure, ci împreună cu armonici și sunete de frecvențe egale cu suma și diferența frecvențelor celor două sunete inițiale. De existența distorsiunilor neliniare, produse de urechea umană, ne putem convinge printr-o experiență

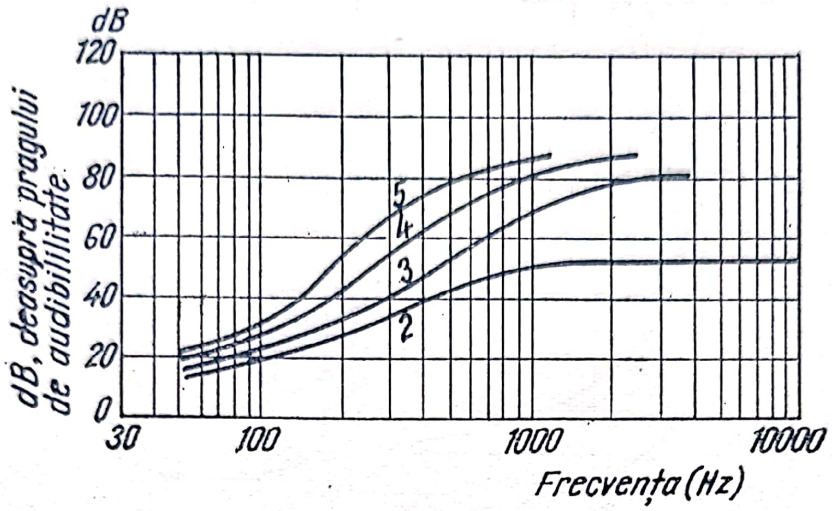


Fig. 1.19. Nivelul de intensitate acustică, în dB, deasupra pragului de audibilitate la care devin audibile armonicile de diferite ordine (2, 3, 4, 5), în funcție de frecvență.

foarte simplă: dacă se țin două diapazoane acordate unul pe 4 000 Hz și altul pe 4 300 Hz aproape de ureche, aceasta percepe un sunet cu frecvența egală cu diferență celor două frecvențe $f = 300$ Hz, a cărui tărie acustică pare că depășește cea a celor două sunete primare.

Din fig. 1.19 rezultă dependența care există între nivelul, în dB, la care apar diferitele armonici (datorită neliniarității urechii) și frecvența, în Hz.

1.6.2. *Minimul perceptibil în variația intensității acustice*

În tehnica sonorizărilor este necesar, uneori, a se cunoaște valoarea minimului perceptibil în variația nivelului de intensitate acustic în funcție de frecvență (exprimat în dB) pentru diferite nivele de tărie acustică a senzației auditive, (foni) pentru a determina valorile variației intensității acustice care nu sînt percepute de ureche. Din curbele trasate în fig. 1.20 reiese că minimul perceptibil depinde de frecvența sunetului, dar și de nivelul de tărie existent înainte de producerea variației intensității unui sunet. Rezultă, de asemenea, că pentru banda frecvențelor medii (500 — 2 000 Hz) și nivele mai mari de tărie ($\Lambda > 60$ foni) minimul perceptibil în variația nivelului de intensitate

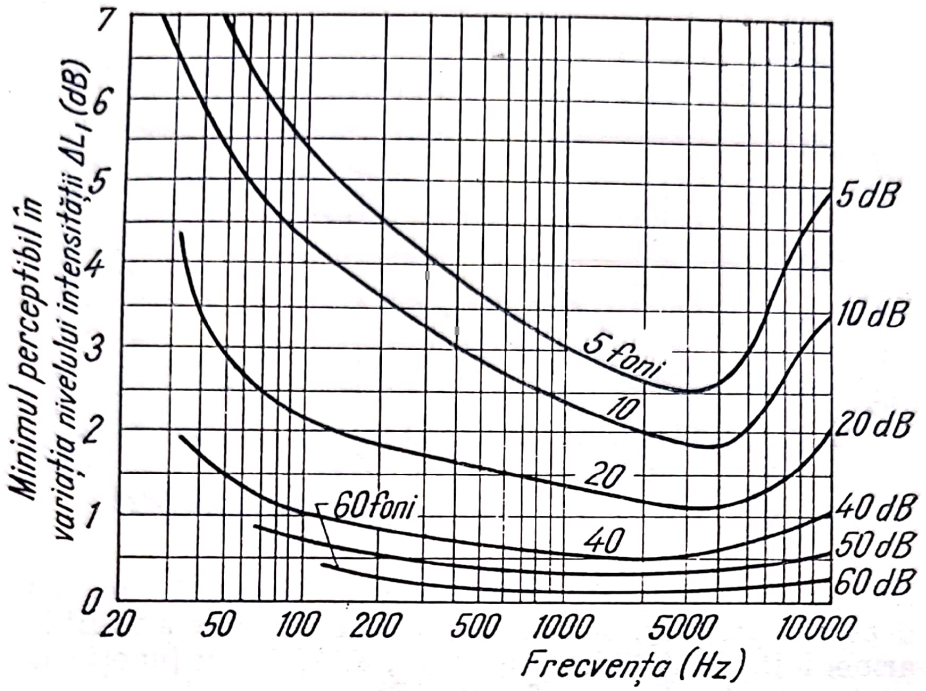


Fig. 1.20. Minimul perceptibil în variația nivelului de intensitate acustică ΔL_1, în funcție de frecvență.

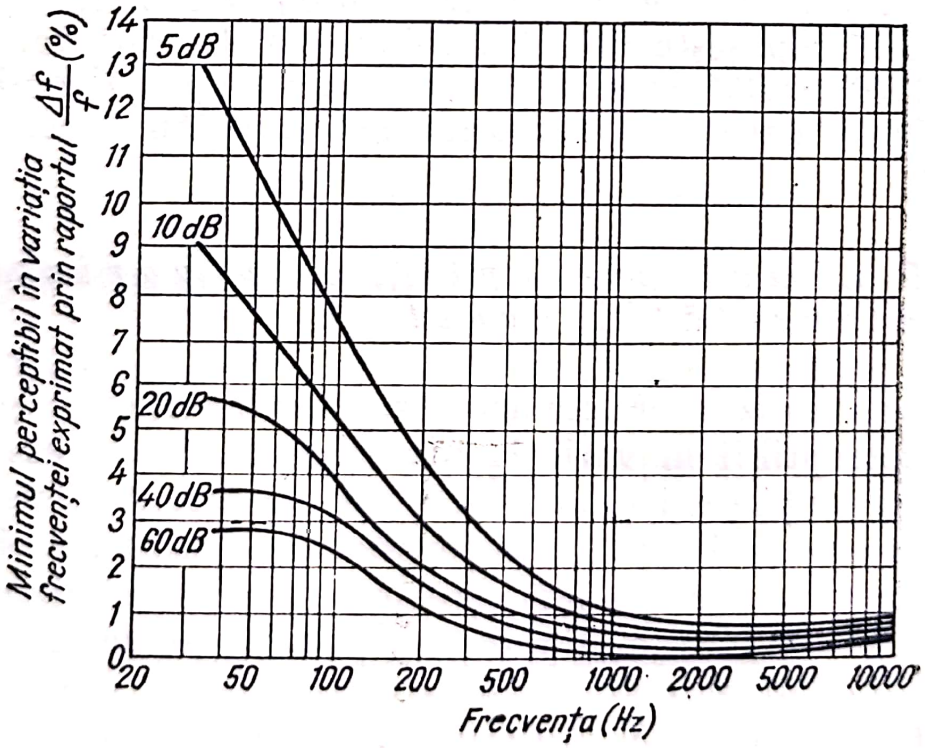


Fig. 1.21. Minimul perceptibil al variației $\frac{\Delta f}{f}$ (%) în funcție de frecvență.

Scanned with OKEN Scanner

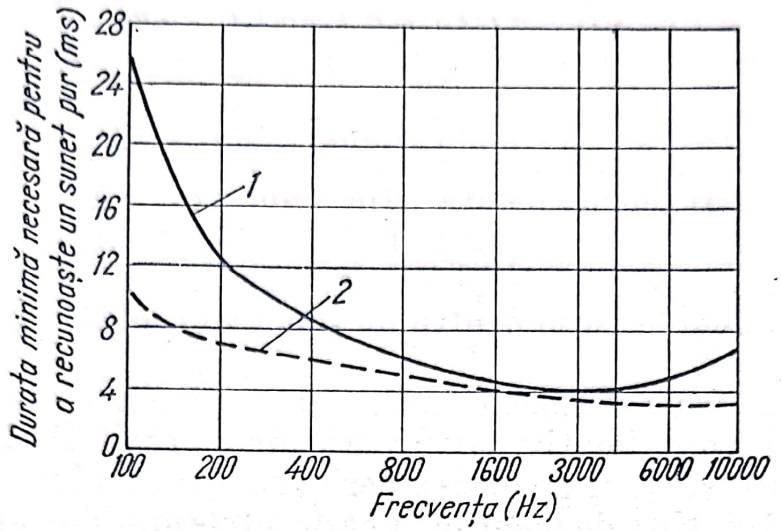


Fig. 1.22. Duratele minime necesare pentru recunoașterea unui sunet sinusoidal pur: *1* — sunet stabilit în mod brusc; *2* — sunet care se stabilește în mod progresiv.

acustic comportă valori sub 1 dB. Pentru nivele de tărie acustică mici (sub 30 foni) minimul perceptibil de variație a intensității acustice este de 2 — 4 dB.

1.6.3 *Minimul perceptibil în variația frecvenței*

Dacă variația în frecvență a unui sunet excitator rămîne sub o anumită valoare, organul auditiv nu o sesizează. Această valoare în variația frecvenței, insesizabilă de ureche, denumită *minimum perceptibil în variația frecvenței*, depinde de frecvența sunetului care exista înainte de variație, dar și de variația nivelului de tărie acustică.

Din graficul prezentat în fig.1.21 se deduce că organul auditiv este mai sensibil la schimbarea frecvenței în domeniul frecvențelor înalte, superioare lui 1 000 Hz. Sensibilitatea urechii la variațiile de frecvență scade apreciabil cu cît ne deplasăm spre domeniul frecvențelor joase. În banda de frecvențe 500-4 000 Hz, pentru nivele mai mari de 40 — 60 dB sînt percepute de către ureche variații de $3^0/_{00}$ (de exemplu, o variație de 3 Hz este perceptibilă), iar la 50 Hz sînt percepute numai variații de $3{,}5^0/_0$; o variație de aproximativ 2 Hz este perceptibilă). La 8 000 Hz sînt percepute variații de $3^0/_{00}$ (o variație de 28 Hz este perceptibilă).

1.6.4. *Minimul perceptibil în durata emisiunii unui sunet*

Pentru a recunoaște înălțimea unui sunet, urechea umană reclamă o durată minimă în emisiunea acestui sunet. Această durată minimă caracteristică este condiționată, din punct de vedere fizic, dacă se ține seamă de însușirile sunetelor. În fig. 1.22 este arătat un exemplu de durate minime caracteristice pentru recunoașterea unui sunet sinusoidal stabilit în mod brusc și pentru un sunet sinusoidal care se stabilește în mod progresiv.

Pentru a putea recunoaște înălțimea unui sunet, urechii umane îi sînt suficiente aproximativ patru perioade de oscilație la frecvența de 1 000 Hz (4 ms) și chiar o singură perioadă a sunetului (10 ms) la frecvența de 100 Hz. Este de menționat că duratele minime caracteristice ale vocalelor sînt de ordinul a 50 — 300 ms, iar ale consoanelor, de ordinul a 2 — 40 ms, adică cele mai scurte silabe se situează deasupra limitei necesare de durată minimă pentru determinarea înălțimii sunetelor.

În concluzie se poate afirma că un sunet este de-abia atunci perceput cînd durata lui este de aproximativ trei-patru perioade de oscilație; dacă durata lui este mai scurtă, el ne comunică o senzație de pocnet. S-a constatat totuși că urechea este capabilă să perceapă diferențe de durată între două sunete pînă la 10 ms, ceea ce constituie minimul perceptibil acceptat actualmente în durata emisiunii sonore.

În fine, la fel ca ochiul, urechea are proprietatea de a contopi într-o senzație unică diverse excitații sonore primite într-o anumită perioadă de timp. Dacă, de exemplu, excitațiile primite se succed într-un interval de timp destul de apropiat, ele se pot contopi auditiv într-o senzație unică.

Durata de timp în care persistă senzația sonoră după încetarea excitației este practic de ordinul $\frac{1}{15}$ ... $\frac{1}{20}$ s (67 ... 50 ms).

1.6.5. *Mascarea (efectul de acoperire)*

Se constată adeseori că sunetele slabe sînt mai puțin perceptibile în prezența sunetelor mai puternice. De multe ori, cînd se ascultă un sunet util, el poate fi însoțit de alte sunete nedorite, suprapuse, așa-numitele sunete perturbatoare. De exemplu, sunetul de tic-tac emis de un ceas poate fi auzit într-o încăpere liniștită la distanța de aproximativ 1,5 m. Acest sunet poate fi stînjenit („acoperit") de oricare sunet nedorit perturbator din cameră avînd un nivel de intensitate mai mare decît al sunetului dat de ceas. Efectul sunetului perturbator echiva-

Scanned with OKEN Scanner

lează cu diminuarea nivelului intensității sunetului inițial al ceasului, considerat sunet util. Cu alte cuvinte, prin mascarea sunetului util de către cel perturbator, efectul este identic cu ridicarea pragului de audibilitate al ascultătorului cu un anumit număr de decibeli, egal cu diminuarea aparentă suferită de nivelul inițial al sunetului util. Aceasta este acțiunea de *mascare* (*sau acoperire*) a sunetului util de către cel perturbator. Nivelul existent al sunetului acoperit se numește *nivel acoperit*, iar nivelul sunetului perturbator se numește *nivel acoperitor*.

Nivelul de intensitate acustică, ce reprezintă valoarea creșterii nivelului acoperit pînă la obținerea din nou a condițiilor de audibilitate inițiale, se numește *nivel de acoperire*.

În fig. 1.23 este reprezentată creșterea pragului de audibilitate datorită unui sunet perturbator de frecvență 1 kHz pentru diferite nivele ale intensității acustice atunci cînd sunetul perturbator maschează sunete pure.

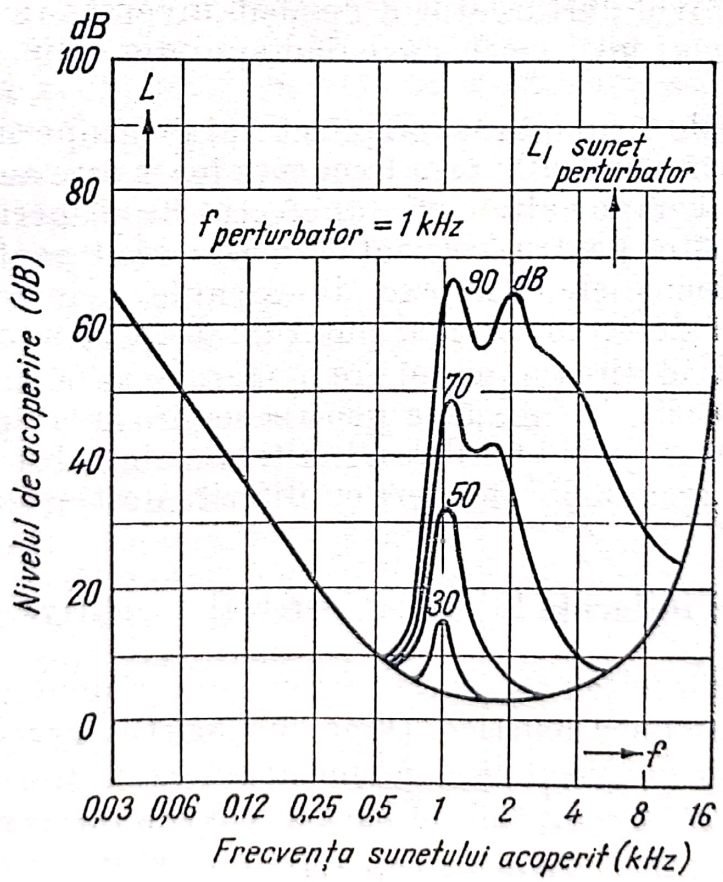


Fig. 1.23. Nivelul de acoperire produs de un sunet pur $f = 1\,000$ Hz, în funcție de frecvența sunetului acoperit pentru diferite nivele de intensitate acustică perturbatoare.

Dacă, de exemplu, un sunet perturbator de frecvență $f = 1\,000$ Hz intervine sub forma unui nivel acoperitor de 70 dB asupra unui ton pur de 2 000 Hz, el provoacă un efect de acoperire, al cărui nivel de acoperire este de 25 dB. De asemenea, un nivel acoperitor de 90 dB al unui sunet cu o frecvență de 1 000 Hz cauzează, pentru un sunet acoperit cu frecvența de 4 000 Hz, un nivel de acoperire de 45 dB.

Se observă din grafic (v. fig. 1.23) că la nivelele mici ale sunetului perturbator curba care reprezintă pragul de audibilitate este simetrică față de frecvența perturbatoare, pe cînd la nivele mai mari ale sunetului perturbator, această curbă devine nesimetrică, ridicîndu-se mult la frecvențele înalte. Se deduce, deci, că pe lîngă faptul că efectul de acoperire devine maxim pentru frecvențele utile apropiate de sunetul acoperitor, frecvențele mai mici decît frecvența perturbatoare sînt mult mai puțin mascate decît cele superioare acestei frecvențe.

Efectul de acoperire nu se remarcă în nici un caz dacă nivelul acoperitor al sunetului perturbator nu a ajuns la o anumită valoare minimă; după ce acest nivel perturbator a depășit nivelul minim, nivelul de mascare crește mai întîi încet, devenind apoi din ce în ce mai mare ca valoare.

Din cercetările efectuate asupra efectului de acoperire a rezultat că mascarea frecvențelor înalte prin frecvențe joase este cu mult mai pronunțată decît invers; cu alte cuvinte, efectul de acoperire se manifestă mult mai supărător pentru frecvențele înalte decît pentru cele joase. De asemenea, semnalele complexe, de exemplu, cele dreptunghiulare, produc un efect de acoperire mai puternic decît sunetele pure.

Efectul de acoperire (mascare) are o mare importanță la stabilirea nivelelor de intensitate, necesare pentru sonorizarea spațiilor închise (sau în aer liber) ca și la stabilirea limitelor admisibile ale nivelului perturbator de zgomot în încăperi cu diferite destinații.

1.7. Ecoul și influența lui asupra percepției auditive

Prin ecou se înțelege repetarea perceptibilă a unui sunet primar în urma reflexiei undelor acustice. După cum se știe, organul auditiv are o anumită inerție în sensul că după încetarea excitației sonore primare există o persistență a senzației auditive care, evaluată ca durată în timp, este în medie de $\frac{1}{20} = 0{,}050$ s $= 50$ ms.

Din cele arătate mai sus rezultă că dacă survin noi excitări ale timpanului (datorate unei surse sonore secundare etc.) identice cu prima, care

au loc în acest interval de timp de 50 ms, aceste excitări nu dau naştere unor noi senzaţii auditive. Toate aceste excitaţii, deci, par contopite într-o senzaţie unică, ce o cuprinde bineînţeles şi pe cea iniţială.

Analizînd ceea ce se întîmplă însă cu sunetele produse de surse secundare, terţiare etc. identice cu prima, care ajung la urechea ascultătorului după intervalul de timp de aproximativ 50 ms — deci dincolo de durata de persistenţă a senzaţiei auditive — se constată că aceste sunete sînt percepute în mod distinct ca al doilea sunet, al treilea sunet ş.a.m.d.

Sunetele acestea de sine stătătoare, perceptibile independent şi care de fapt sînt repetări ale sunetului datorat sursei primare constituie *ecoul*.

Cercetările făcute în această direcţie au arătat că există un anumit interval de timp minim care permite perceperea ecoului. Acest interval de timp, numit şi *întîrziere critică*, depinde în esenţă de natura excitaţiei auditive, de intensitatea sunetului secundar faţă de sunetul primar perceput iniţial şi de locul în care se efectuează ascultarea.

Pentru nivele de intensitate sonoră mari ale sunetului secundar (repetat) întîrzierea critică este mai mică. Cu cît nivelul de intensitate sonoră a sunetului secundar este mai mic faţă de nivelul de intensitate al sunetului primar, cu atît această întîrziere critică poate fi mai mare. În fig. 1.24, unde este indicat acest lucru, sînt reprezentate diferenţele între nivelele de intensitate sonoră ale sunetului primar şi secundar în funcţie de intervalul de timp între momentele excitaţiilor. Curbele notate cu procente arată a cîtea parte din ascultători sînt perturbaţi de sunetele repetate cu diferite nivele. Din fig. 1.24 se vede că dacă undele sonore reflectate ajung la ascultătorii situaţi într-o sală după 150 ms de la sosirea undelor sonore directe cu un nivel de intensitate situat cu 15 dB sub nivelul de

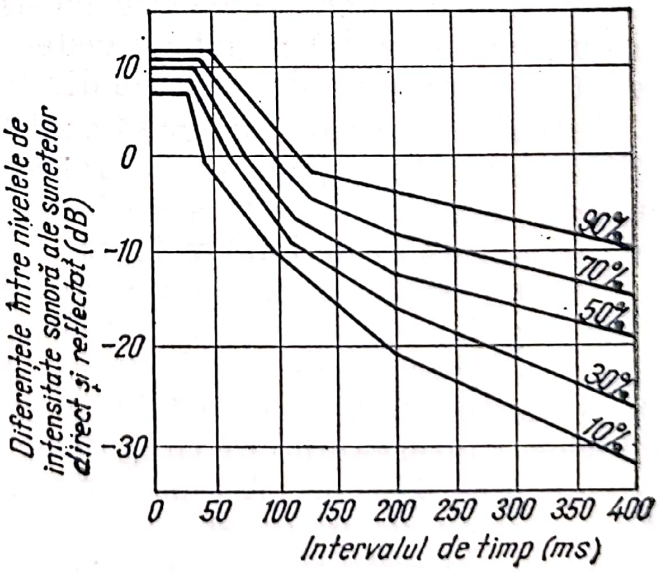


Fig. 1.24. Procentajul de ascultători perturbaţi prin auzirea distinctă a ecoului.

intensitate al sunetului direct, numai 10% din ascultătorii respectivi mai percep ecoul. Restul ascultătorilor nu mai fac distincția între sunetul direct și cel reflectat.

Spre exemplificarea celor spuse mai înainte se consideră cazul unui ascultător situat în fața a două difuzoare și care ascultă sunetele emise de ele. Se pot deosebi trei cazuri:

a) Dacă excitațiile sonore ale celor două difuzoare ajung la ascultător cu o întîrziere în timp cuprinsă în intervalul de pînă la 3 ms, atunci senzațiile auditive se contopesc într-o singură senzație, așa-numita *imagine sonoră*, a cărei poziție se află între cele două difuzoare și este determinată de diferențele de timp și de intensitate a celor două sunete radiate de difuzoare.

b) Dacă excitațiile sonore ale celor două difuzoare ajung la ascultător în intervalul de timp cuprins între 3 și 50 ms, atunci direcția sursei sonore este determinată de sunetul primar incident; sunetul întîrziat ajută însă intensității sonore, exercitîndu-și influența și asupra calității sunetului, întrucît favorizează apariția unei senzații de percepție spațială a sunetului emis.

c) Cînd excitațiile sonore date de cele două difuzoare sosesc la ascultător distanțate în timp cu mai mult de 50 ms, atunci ultimul sunet sosit formează, în general, un ecou perturbator dacă intensitatea lui nu este cu cel puțin 10 dB mai mică decît cea a sunetului primar.

Cazurile a) și b) sînt realizate cu ocazia redării sunetelor în săli bine proiectate din punct de vedere acustic. Cazul c) apare numai în cazul sălilor nereușite din punct de vedere acustic, de exemplu, cu reflexii perturbatoare, date de peretele din fund sau de pereții laterali.

Întîrzierea pe care ajunge să o aibă sunetul reflectat în cazul acestor săli, în special după ce a suferit reflexii multiple între pereți, depășește cu mult întîrzierea critică de 50 ms, care corespunde unei diferențe de parcurs de aproximativ 17 m.

Totuși, este de menționat că auzul nostru nu percepe distinct reflexiile singulare decît atunci cînd ele întrec nivelul global de intensitate al sunetului redat într-o sală și sînt în același timp întîrziate cu 50 ms. Dacă aceste reflexii fac parte dintr-un șir de reflexii care se succed în interiorul intervalului de timp de 50 ms, atunci ele nu sînt percepute într-un mod distinct. Așa se explică de ce într-o sală bine proiectată din punct de vedere acustic, nu se percepe fiecare reflexie în parte, ci ele sînt percepute global sub formă de reverberație.

De menționat este faptul că, în general, ecourile pot fi evitate în săli fie prin alegerea unor dimensiuni interioare astfel încît să nu existe

Scanned with OKEN Scanner

o diferență de parcurs între undele sonore directe și reflectate mai mare de 17 m, fie de cele mai multe ori cum se ivesc cazurile în practică la sălile mari, prin tratarea acustică a suprafețelor care ar da naștere la reflexii supărătoare.

Tratarea acustică a pereților sălilor își are justificarea și în aceea că sînt atenuate frecvențele înalte din spectrul sunetului repetat, fapt care face ca efectul ecoului să fie diminuat.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 2

Acustica interioară a încăperilor

2.1. Metode de studiu al cîmpului acustic din încăperi

Acustica sălilor influenţează în mod decisiv atît calitatea captărilor sonore efectuate cu ajutorul microfoanelor, cît şi calitatea redărilor sunetului prin difuzoare.

Proprietăţile acustice ale unei săli (ţinînd seamă de criteriile de apreciere a calităţilor acustice ale acesteia, ca: durata de reverberaţie, inteligibilitatea, difuzitatea etc.) determină în bună parte soluţia de sonorizare care poate fi aplicată. Unele dintre aceste proprietăţi s-au analizat pe baza studiilor efectuate asupra cîmpului acustic în încăperi.

În esenţă, undele acustice trebuie să ajungă la urechea ascultătorului în ordinea generării lor, pentru a putea fi apreciate de ascultător la justa lor valoare. Condiţia aceasta este realizată, în general, în spaţiul liber, pe cîtă vreme într-un spaţiu închis, prezenţa obstacolelor constituite de ziduri, pereţi, plafoane etc. perturbă succesiunea iniţială a undelor acustice directe şi reflectate. Acest lucru determină şi o schimbare a senzaţiei auditive a unui ascultător. Diferitele fenomene care decurg din această situaţie de *spaţiu închis* se pot studia în mai multe feluri. O primă metodă pentru studiul cîmpului acustic este aceea prin care se admite că sala, indiferent de forma ei, constituie un sistem oscilant în care propagarea undelor are loc într-un spaţiu cu trei dimensiuni şi sînt valabile legile acusticii ondulatorii. Această metodă de studiu în care se utilizează ecuaţia undelor, este legată de multe dificultăţi de calcul, întrucît forma unei săli (în afară de excepţii) nu este reductibilă la suprafeţe care îşi găsesc o exprimare matematică simplă. Pe de altă parte, condiţiile la limită (reflexia sunetului pe pereţi) sînt greu de exprimat în mod riguros. Pentru aplicaţiile curente, această metodă de studiu este foarte aproximativă şi greu de folosit.

Scanned with OKEN Scanner

Un alt mod de a studia cîmpul acustic al încăperilor este acela de a considera că în încăpere cîmpul acustic este generat de însumarea unui număr foarte mare de unde plane, al căror unghiu de incidență variază în mod întîmplător. Se spune în acest caz că undele sînt necoerente. Efectul se poate evalua folosind metodele statisticii. În acest mod de tratare mărimile care definesc cîmpul sînt de tip energetic, cum sînt de exemplu densitatea de energie și presiunea eficace medie.

În diferite puncte ale cîmpului acustic dintr-o încăpere interesează, în special, valoarea medie w a densității energiei acustice. Această mărime se poate deduce studiind cîmpul acustic pe baza unei alte metode denumită statistico-geometrică. Prin această metodă se studiază undele sonore multiplicate prin reflexiile lor de pereții unei încăperi care capătă în cele din urmă o propagare după nenumărate direcții și sensuri cu totul întîmplătoare.

Fenomenele globale, care țin seamă de legile de reflexie și de grupările statistice ale razelor acustice care ajung la ureche în timpul util de 50 ms, pot fi exprimate folosind calculul probabilităților.

Studierea comportării undelor acustice într-o încăpere poate fi simplificată, reprezentîndu-se prin raze acustice imaginare undele care se propagă. Aceste raze sînt perpendiculare pe frontul de undă. În acest fel, razele acustice se vor propaga după linii drepte în orice direcție a spațiului, în mod asemănător cu fasciculele de lumină cunoscute din optică.

Inconvenientul prezentat de această metodă de studiu constă în faptul că simplificarea făcută nu este în întregime valabilă din cauza felului în care se reflectă undele acustice în comparație cu cele luminoase, mai ales din punctul de vedere al energiei sonore reflectate. Acest lucru se datorește diferenței de lungime de undă care există între undele acustice și cele de lumină. Lungimile de undă în acustică fiind— pentru frecvențele joase — de același ordin de mărime cu dimensiunile pereților reflectanți, teoria arată că nu este întru totul corect să se aplice razelor acustice legile reflexiei din optică.

Adoptarea metodei de studiu statistico-geometrică, care folosește metoda trasării pe plan a razelor acustice și studierea lor individuală, este justificată numai în măsura în care reflexiile undelor acustice în contact cu pereții, pardoseala și plafonul încăperii se fac ca și în cazul undelor luminoase.

Deși metoda amintită nu este completă și generală, totuși anumite avantaje oferite de ea, cum este, de exemplu, posibilitatea studierii detaliate a efectelor anumitor raze acustice asupra ascultătorilor din-

Scanned with OKEN Scanner

tr-un auditoriu o fac utilizabilă în practică. Metoda de cercetare prin studiul razelor acustice pe machete (model la scară redusă în cele trei dimensiuni ale sălii de studiat) este o aplicație directă a metodei statistico-geometrice.

Din activitatea de proiectare acustică se știe că un studiu mai aprofundat, și în același timp mai precis, se poate efectua pe modele reduse și în spațiul tridimensional care oferă posibilitatea cunoașterii performanțelor acustice ale oricărei săli. Fenomene ca propagarea, reflexia și absorbția undelor sonore și, în sfîrșit, difuzitatea, sînt reproduse într-o încăpere de studiat executată la o scară redusă — modelul acustic — în care se redă o aceeași piesă muzicală, dar transpusă, în ceea ce privește frecvența, corespunzător cu raportul de micșorare ce există între încăperea originală și model. Dacă reducerea dimensiunilor pentru modelul ales se face în raportul $1 : n$ (model: execuție originală), atunci pentru a se menține aceleași reflexii, interferențe și difracții ale sunetelor, trebuie ca lungimile de undă să fie micșorate în model în raport de $1:n$ față de cele din încăperea originală; deci, toate frecvențele sunetelor din model trebuie să fie de n ori mai mari decît cele care există în încăperea originală.

O asemănare perfectă, din punctul de vedere al acusticii arhitecturale, între construcția originală și modelul ei redus nu este bineînțeles posibilă, dar aceasta nici nu este necesară, întrucît dacă, de exemplu, într-o sală mare se află cu zece persoane mai mult sau mai puțin, acustica sălii nu se modifică în mod sensibil. Există deci întotdeauna o mică toleranță permisă (care nici nu este sesizată de ureche) în această metodă care folosește similitudinea între execuția la scara normală a unei săli și modelul ei.

Față de metodele utilizate pînă acum, procedeul cu model la scară redusă oferă posibilitatea de a se determina anumiți parametri obiectivi, ca de exemplu (pentru o porțiune dintr-o sală, ocupată de 5 fotolii sau mai multe) alura curbei de reverberație, dependența de frecvență a duratei de reverberație, claritatea, inteligibilitatea silabelor, gradul de difuzitate, creșterea nivelului acustic datorită reflexiilor în locul respectiv și totodată sonoritatea încăperii precum și parametrii subiectivi (prin prelucrarea rezultatelor obținute de către o grupă experți). Toți parametrii acustici citați mai înainte pot fi determinați atît pentru muzică, cît și pentru vorbă, în cazul unei anumite variante a modelului redus. De asemenea, se poate face un studiu comparativ cu alte variante propuse pentru aceeași sală sau pentru alte săli. În comparație cu această metodă, nici o altă metodă (calculul duratei de reverberație, cons-

Scanned with OKEN Scanner

trucția razelor acustice în epură etc.) și nici un consultant specialist în acustică cu multă experiență nu poate stabili cu atîta exactitate valorile parametrilor acustici ceruți. Afară de studiile pur acustice, care se pot întreprinde pe modelele reduse ale sălilor, prin acest procedeu se pot rezolva rapid și economic unele probleme de sonorizare, cum ar fi: dispunerea optimă a difuzoarelor într-o sală mare unde intervine pericolul unei reacții acustice sau amplasamentul optim al difuzoarelor și microfoanelor în cazul captărilor și redărilor stereofonice. În același fel, cu modelul redus se pot studia amplasamentele optime ale coloanelor de difuzoare în cazul sonorizărilor sălilor mari de cinematograf, de conferințe, de sport, de congrese etc.

În concluzie, metodele de studiu amintite permit predeterminarea performanțelor acustice ale sălilor care sînt foarte importante în aplicațiile din domeniul sonorizărilor.

2.2. Noțiuni de acustică statistică

Bazele acusticii statistice au fost puse de fizicianul american Sabine în 1895.

2.2.1. *Densitatea de energie acustică într-un spațiu închis*

Dacă se presupune că într-o încăpere, ale cărei suprafețe delimitatoare sînt perfect reflectante, există o sursă acustică ce radiază, atunci, neexistînd nici o disipare de energie, ar urma ca densitatea de energie acustică w să crească în mod continuu atîta timp cît sursa acustică va continua să radieze. Densitatea de energie crescînd, după un anumit timp există cea mai mare probabilitate ca spațiul considerat să fie în mod uniform „umplut cu sunet".

Dacă, însă, încăperea considerată anterior, posedă suprafețe delimitatoare complet absorbante pentru sunetul emis de sursă, atunci nici un sunet nu ar mai fi reflectat și condițiile din încăpere devin analoge cu situația din aer liber. În acest caz, densitatea de energie w va scădea în interior, iar intensitatea acustică I va varia invers proporțional cu pătratul distanței de la sursă la extremitatea încăperii.

Este de precizat însă că, în realitate, suprafețele delimitatoare ale unei încăperi nu sînt nici total reflectante, nici total absorbante, ci ele absorb numai o parte din energia acustică și reflectă o altă parte.

Scanned with OKEN Scanner

Deci, în încăpere va exista o anumită densitate de energie w, care poate fi calculată aplicînd legile acusticii statistice. Pentru aceasta se pornește de la ipoteza că la un moment dat în încăpere există un cîmp acustic difuz, adică densitatea energiei acustice este aceeași în orice punct al încăperii și transmisia acesteia se face fără preferință în toate direcțiile, iar absorbția pereților este uniformă și caracterizată printr-un coeficient de absorbție acustică α definit ca raportul dintre energia absorbită și energia incidentă. De asemenea, se consideră îndeplinite următoarele condiții: puterea sursei acustice ce emite în încăpere este independentă de nivelul de intensitate acustică care acționează în încăpere; absorbția energiei acustice se face numai de către pereți, plafon și pardoseală, iar absorbția în aer este deocamdată neglijată; de asemenea, se consideră coeficientul de absorbție α independent de puterea acustică incidentă.

Energia W, care este radiată de o sursă acustică în timpul dt și pe care o primește o suprafață elementară dS, întîlnită pe parcurs în încăpere, este dată de relația:

$$W = \frac{wc}{4} dS dt, \tag{2.1}$$

în care: w este densitatea de energie acustică, în J/m³;
c — viteza sunetului în aer, în m/s;
dS — elementul de suprafață, în m²;
dt — intervalul de timp, în s.

Puterea acustică $\mathcal{P}_a$ a unei surse reprezintă energia acustică care cade pe o suprafață elementară dS din toate direcțiile într-un interval de timp dt. Expresia puterii $\mathcal{P}_a$ se deduce din relația (2.1) și este:

$$\mathcal{P}_a = \frac{wc\, dS}{4}. \tag{2.2}$$

Din toată această putere emisă în încăpere, numai o parte este reținută de suprafețele interioare delimitatoare $S_1, S_2 \ldots S_n$, cărora le corespund coeficienții de absorbție $\alpha_1, \alpha_2 \ldots \alpha_n$, și anume:

$$\mathcal{P}_a = \frac{wc}{4} (\alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \ldots + \alpha_n S_n). \tag{2.3}$$

Dacă se notează cu

$$\sum S_i = S_1 + S_2 + \ldots + S_n = S \tag{2.4}$$

suprafața totală a încăperii și cu

$$A = \sum_1^n \alpha_i S_i \tag{2.5}$$

absorbția încăperii, considerînd că se datorește numai pereților, plafonului și pardoselii (în ea nemai existînd alte obiecte sau persoane), atunci relația (2.2) se mai poate scrie și sub forma:

$$\mathcal{P}_a = \frac{wc}{4} A. \tag{2.6}$$

Într-o încăpere, puterea acustică $\mathcal{P}_a$, injectată de sursă în încăpere, egalează variația energiei staționare de cîmp difuz $V\mathrm{d}w/\mathrm{d}t$ la care se adaugă pierderile prin absorbție, proporționale cu mărimea densității de energie, adică,

$$V\frac{\mathrm{d}w}{\mathrm{d}t} + \frac{Ac}{4} w = \mathcal{P}_a. \tag{2.7}$$

Împărțind relația (2.7) cu V se obține:

$$\frac{\mathrm{d}w}{\mathrm{d}t} + \frac{Ac}{4V} w = \frac{\mathcal{P}_a}{V} \tag{2.8}$$

sau

$$\frac{\mathrm{d}w}{\mathrm{d}t} + \zeta w = \frac{\mathcal{P}_a}{V}, \tag{2.9}$$

unde $\zeta = \frac{Ac}{4V}$.

Ecuația diferențială (2.9) se mai poate scrie și sub forma:

$$\frac{\zeta V\, \mathrm{d}w}{\mathcal{P}_a - \zeta V w} = \zeta\, \mathrm{d}t. \tag{2.10}$$

După integrare rezultă:

$$\ln(\mathcal{P}_a - \zeta V w) = -\zeta t + K.$$

Dacă se consideră că sursa acustică începe să emită la momentul $t = 0$ și că valoarea constantei de integrare este $K = \ln \mathcal{P}_a$, se obține:

$$\ln\left(1 - \zeta V \frac{w}{\mathcal{P}_a}\right) = -\zeta t \tag{2.11}$$

sau

$$1 - \zeta V \frac{w}{\mathcal{P}_a} = e^{-\zeta t}. \tag{2.12}$$

De aici rezultă

$$1-e^{-\zeta t}=\zeta V\frac{w}{\mathcal{P}_a} \text{ și } w=\frac{\mathcal{P}_a}{\zeta V}(1-e^{-\zeta t}) \tag{2.13}$$

sau

$$w=\frac{4\mathcal{P}_a}{Ac}(1-e^{-\zeta t}). \tag{2.14}$$

Ținînd seamă de faptul că intensitatea acustică reprezintă, conform definiției, fluxul de energie acustică care străbate unitatea de arie perpendiculară pe direcția de propagare a sunetului, atunci

$$I=\frac{\mathcal{P}_a}{A}=\frac{wc}{4}. \tag{2.15}$$

Dacă în relația (2.15) se introduce valoarea lui w din relația (2.14), se obține relația:

$$I=\frac{\mathcal{P}_a}{A}(1-e^{-\frac{Ac}{4V}t}), \tag{2.16}$$

care exprimă variația în timp a intensității acustice într-un spațiu închis.

În fig. 2.1 este prezentată curba de variație a intensității acustice I în funcție de timp. Ca origină a timpului a fost considerat momentul în care sursa acustică din încăpere începe să radieze sunet.

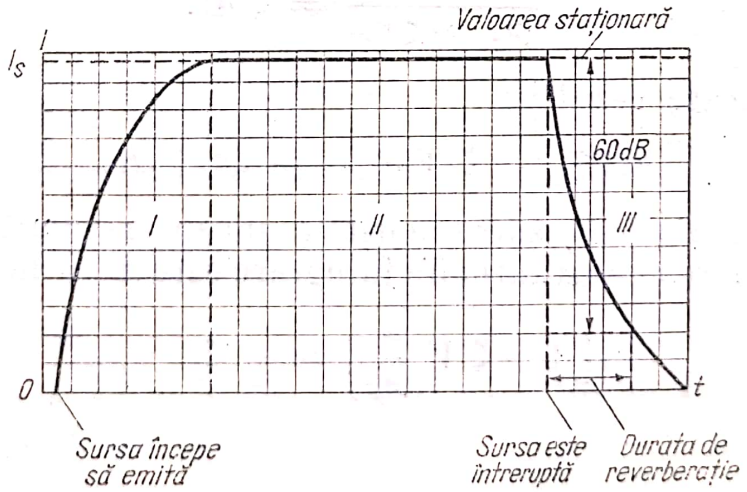


Fig. 2.1. Variația intensității acustice în funcție de timp.

Din alura curbei reiese faptul că pot fi stabilite trei domenii ale variației intensității acustice în funcție de timp. În prima perioadă (domeniul *I*) cînd sursa începe să emită (se stabilește un cîmp acustic) în încăpere, intensitatea *I* a sunetului are o creștere exponențială, ajungînd după un interval de timp (teoretic $t \to \infty$) la valoarea $I = \frac{\mathcal{P}_a}{A}$.

Din relația (2.16) se vede că în mod practic termenul $e^{-\frac{Act}{4V}}$ ajunge la o valoare $e^{-\frac{Act}{4V}} \ll 1$ după un interval de timp relativ scurt, iar creșterea intensității acustice *I* are loc cu atît mai repede cu cît absorbția suprafețelor delimitatoare ale încăperii $A = \sum_1^n \alpha_i S_i$ este mai mică.

Urmează o a doua perioadă în variația intensității acustice (domeniul *II*), cea în care intensitatea acustică se menține la valoarea staționară atinsă la sfîrșitul primei perioade:

$$I_s = \frac{\mathcal{P}_a}{A}. \tag{2.17}$$

Această perioadă este caracterizată printr-un regim staționar, în care intensitatea acustică depinde de puterea $\mathcal{P}_a$ emisă de sursa din încăpere și de gradul de absorbție *A* al suprafețelor delimitatoare ale încăperii.

Începînd din momentul întreruperii emisiunii sursei acustice, cînd valoarea puterii acustice devine $\mathcal{P}_a = 0$, începe a treia perioadă pentru variația intensității acustice *I* în funcție de timp (domeniul *III*).

Cînd $\mathcal{P}_a = 0$, ecuația (2.7) se reduce la ecuația

$$V \frac{dw}{dt} = -\frac{Ac}{4} w \tag{2.18}$$

sau

$$\frac{dw}{dt} + \frac{Ac}{4V} w = 0. \tag{2.19}$$

Soluția acestei ecuații diferențiale este:

$$w_R = w_0 e^{-\frac{Ac}{4V} t} = \frac{4\mathcal{P}_a}{Ac} e^{-\frac{Ac}{4V} t}. \tag{2.20}$$

În consecință, intensitatea acustică are valoarea:

$$I_R = \frac{\mathcal{P}_a}{A} e^{-\frac{Ac}{4V}t} = I_S e^{-\frac{Ac}{4V}t}. \tag{2.21}$$

Relația (2.21) demonstrează faptul că după încetarea emisiunii sursei acustice, intensitatea acustică I_R descrește după o funcție exponențială, devenind egală cu zero numai după o durată de timp teoretic infinită. Se remarcă că descreșterea lui I_R este cu atît mai lentă cu cît absorbția datorită suprafețelor delimitatoare ale încăperii este mai mică. Dimpotrivă, cînd absorbția datorită suprafețelor delimitatoare ale încăperii este mai mare, descreșterea intensității acustice este rapidă. Atît într-un caz, cît și în celălalt, se constată o persistență sau o prelungire a sunetului într-o încăpere după încetarea emisiunii sursei acustice. Această persistență a sunetului, care este o consecință a reflexiilor încă existente provenite de la pereții, plafonul și pardoseala unei încăperi după încetarea emisiunii unei surse sonore, constituie ceea ce se numește în mod subiectiv *reverberația* unei încăperi.

2.2.2. *Durata de reverberație*

Într-o sală oarecare, numărul de reflexii de pe suprafețele delimitatoare ale acesteia este atît de mare, încît procesul acustic apărut poate fi studiat și din punct de vedere statistic. După fiecare reflexie, o parte din energia acustică este reflectată, iar o altă parte este absorbită: astfel, după un anumit interval de timp toată energia acustică emisă de o sursă va fi absorbită. Din relația (2.21) a reieșit că, după încetarea bruscă a emisiunii unei surse acustice într-o încăpere, intensitatea acustică I_R devine egală cu zero numai după o durată de timp destul de mare. Practic, însă, nu interesează decît timpul în care intensitatea acustică va fi redusă la o astfel de valoare care să se situeze în acest caz sub pragul de percepție al organului auditiv uman. Acest interval de timp, denumit în mod convențional *durată de reverberație standard* sau numai *durată de reverberație*, reprezintă timpul care se scurge imediat după încetarea emisiunii sursei acustice și în care energia acustică staționară existentă în încăperea considerată a descrescut la a milioana parte din valoarea ei inițială.

Conform definiției (STAS 1957 - 66), durata de reverberație a unei încăperi într-un anumit punct, și pentru o frecvență dată, este timpul necesar pentru ca nivelul inițial al intensității acustice în regim sta-

ționar să descrească, după încetarea emisiunii sursei, cu 60 dB. Ea se măsoară în ambele sisteme, SI și CGS, în secunde. Durata de reverberație este o mărime măsurabilă în mod curent prin mijloace de laborator.

Conform acestei definiții și folosind relația (2.21) sub forma

$$\frac{I_R}{I_S} = e^{-\frac{Ac}{4V}T} = 10^{-6}, \tag{2.22}$$

se deduce expresia duratei de reverberație T

$$T = \frac{4V}{Ac} \ln 10^{-6} = \frac{55{,}32\ V}{Ac}. \tag{2.23}$$

Dacă se exprimă volumul încăperii în metri cubi (m^3), absorbția acustică în metri pătrați de unități de absorbție (m^2UA) și se înlocuiește viteza sunetului în aer cu valoarea $c \simeq 340$ m/s, relația (2.23) capătă forma:

$$T = \frac{55{,}32}{340} \cdot \frac{V}{A} = \frac{0{,}164}{A} = \frac{0{,}164}{\Sigma \alpha_i S_i} [\text{s}]. \tag{2.24}$$

Relația (2.24) se folosește pentru calculul duratei de reverberație a încăperii cînd absorbția acustică $A = \Sigma_i \alpha_i S_i$ se datorește numai suprafețelor delimitatoare ale unei încăperi (pereți, plafon și pardoseală) fără obiecte sau persoane în încăpere. Cînd în încăperea respectivă se găsesc obiecte, mobilă sau persoane care posedă fiecare o absorbție acustică unitară a_1, $a_2 \ldots$ a_n, atunci relația (2.24) se modifică luînd forma:

$$T = \frac{0{,}164\ V}{\Sigma \alpha_i S_i + \Sigma a_i}. \tag{2.25}$$

Din relația (2.25) se deduce că durata de reverberație a unei încăperi depinde de volumul și suprafața interioară a încăperii, precum și de capacitatea de absorbție acustică a suprafețelor delimitatoare. De asemenea, durata de reverberație depinde de numărul persoanelor și al obiectelor existente în încăpere care posedă și ele o absorbție proprie ce se poate determina cu suficientă precizie prin măsurări acustice.

Relația

$$T = 0{,}16 \frac{V}{A} = 0{,}16 \frac{V}{\Sigma \alpha_i S_i} \tag{2.26}$$

a fost dedusă pe cale experimentală de către W. Sabine, cu ocazia studiilor și măsurărilor întreprinse de el privind durata de reverberație

a diferitelor săli ale Universității Harvard și este cunoscută în acustică și sub denumirea de **formula lui Sabine**.

Din relația (2.26) se deduce imediat că durata de reverberație devine infinită cînd nu există nici o absorbție ($\alpha = 0$), ceea ce se poate concepe și fără a apela la formulă.

Dacă, dimpotrivă, toate suprafețele delimitatoare sînt compuse din materiale și structuri total absorbante, deci echivalente cu absorbția ferestrelor deschise, atunci nu ar trebui să existe nici o reflexie și deci durata de reverberație ar trebui să fie egală cu zero. Acest rezultat nu este confirmat de relația (2.26), întrucît termeul $\Sigma \alpha_i S_i$ devine finit și egal în acest caz chiar cu suma suprafețelor delimitatoare ale interiorului încăperii, ceea ce are drept consecință faptul că durata de reverberație nu poate deveni cît de mică vrem. Rezultă deci că validitatea formulei lui Sabine este supusă unor restricții. Într-adevăr, formula lui Sabine nu se poate explica decît în cazul în care absorbția acustică este atît de redusă, încît fiecare undă suferă un mare număr de reflexii înainte de a fi absorbită. De asemenea, formula lui Sabine nu dă rezultate cu precizia cerută pentru cazul încăperilor mari și cu coeficienți de absorbție de valori ridicate.

Pentru calculul duratei de reverberație se folosesc astăzi formule mai exacte. Una din aceste formule este cea determinată de Eyring.

Pentru deducerea formulei lui Eyring se presupune că există o încăpere în care intensitatea acustică inițială are valoarea I_0 în regim staționar și că numărul de reflexii ale undelor acustice pe pereții încăperii fiind suficient de mare, distanța pe liberul parcurs mediu străbătută de o undă acustică între două reflexii l_m devine independentă de forma sălii și se poate calcula cu relația:

$$l_m = \frac{4V}{S} \text{ [m]}, \tag{2.27}$$

în care: V este volumul încăperii, în m³;
S — suprafața totală interioară a încăperii, în m².

Relația (2.27) a putut fi stabilită pe baza considerentelor că energia totală din volumul V al încăperii fiind wV și fiecare cantitate elementară de densitate de energie întîlnind pereții încăperii în medie de c/l_m ori într-o secundă, energia totală care cade într-o secundă pe suprafețele delimitatoare ale încăperii este $\frac{Vwc}{l_m}$. Această energie este egală cu energia totală care cade pe pereții încăperii în același interval de timp, respectiv $\frac{wcS}{4}$.

Din egalarea acestor două energii

$$\frac{Vwc}{l_m} = \frac{wcS}{4}, \tag{2.28}$$

se obține pentru l_m valoarea indicată în relația (2.27).

Intervalul de timp mediu t_m dintre două reflexii succesive este:

$$t_m = \frac{l_m}{c} = \frac{4V}{cS}. \tag{2.29}$$

Este de remarcat faptul că la fiecare reflexie a unei unde acustice, o parte din energia acustică transportată este reținută de structurile și materialele care compun suprafețele interioare delimitatoare ale încăperii, respectiv plafonul, pereții și pardoseala și care spre simplificare s-a presupus că au un coeficient mediu de absorbție $\bar{\alpha}$ (fig. 2.2).

Intensitatea acustică variază în timp în modul următor:

— la timpul $t = 0 \ldots I = I_0$;

— la timpul $t = t_m$ (după o reflexie) $I_1 = I_0 (1-\bar{\alpha})$;

— la timpul $t = 2t_m$ (după două reflexii) $I_2 = I_0 (1-\bar{\alpha})^2$;

— la timpul $t = 3t_m$ (după trei reflexii) $I_3 = I_0 (1-\bar{\alpha})^3$;

— la timpul $t = nt_m$ (după n reflexii) $I_n = I_0 (1-\bar{\alpha})^n$.

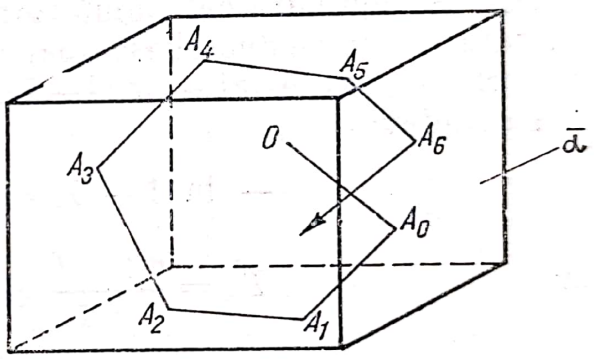


Fig. 2.2. Reflexiile unei unde acustice pe pereții unei încăperi.

Ținînd seama de faptul că: $n = \frac{t}{t_m}$ și făcînd raportul dintre valoarea intensității acustice la timpul $t = 0$ și cea de la timpul $t = nt_m$, se obține următoarea expresie pentru relația care dă variația intensității acustice după n reflexii, dedusă din $I_n = I_0 (1-\bar{\alpha})^n$;

$$\frac{I_0}{I_n} = (1 - \bar{\alpha})^{-\frac{t}{t_m}}. \tag{2.30}$$

Conform definiției, durata de reverberație T reprezintă intervalul de timp în care intensitatea acustică I_n scade la a milioana parte din valoarea ei inițială I_0, deci:

$$\frac{I_0}{I_n} = (1-\bar{\alpha})^{-\frac{T}{t_m}} = 10^6, \tag{2.31}$$

sau, aplicînd logaritmii,

$$-\frac{T}{t_m}\ln(1-\bar{\alpha}) = 6\ln 10. \tag{2.32}$$

Dacă se face înlocuirea $t_m = \frac{4V}{cS}$, relația (2.32) devine:

$$T = \frac{24\ln 10\, V}{-cS\ln(1-\bar{\alpha})} = \frac{0{,}164\, V}{-S\ln(1-\bar{\alpha})}, \tag{2.33}$$

unde

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_i \alpha_i S_i}{S}. \tag{2.34}$$

Relația (2.33) este cunoscută în acustică sub numele de **formula lui Eyring**, iar $\bar{\alpha}$ dat de expresia (2.34) reprezintă coeficientul de absorbție mediu. Coeficientul de absorbție mediu se mai notează și cu α_m.

Dacă se compară cele două formule, a lui Sabine și a lui Eyring, se constată că ele se deosebesc doar prin termenii superiori ai dezvoltării în serie a expresiei $-\ln(1-\bar{\alpha})$.

Într-adevăr

$$-\ln(1-\bar{\alpha}) = \bar{\alpha} + \frac{\bar{\alpha}^2}{2} + \frac{\bar{\alpha}^3}{3} + \ldots$$

iar

$$T_S = \frac{0{,}164\, V}{S\,\bar{\alpha}} \text{ și } T_E = \frac{0{,}164\, V}{S\left(\bar{\alpha} + \frac{\bar{\alpha}^2}{2} + \frac{\bar{\alpha}^3}{3}\right)}.$$

Din aceste relații se observă că valorile obținute prin aplicarea formulei lui Eyring sînt mai mici decît cele obținute prin utilizarea formulei lui Sabine.

În cazul încăperilor la care există o absorbție redusă a suprafețelor delimitatoare interioare ($\bar{\alpha} \leqslant 0{,}3$) pentru calculul duratei de reverberație se poate folosi formula lui Sabine, întrucît termenii superiori ai dezvoltării în serie din formula lui Eyring iau valori reduse și pot fi neglijați, *cele două formule devenind echivalente*. Pentru cazul încăperilor la care există o absorbție ridicată a suprafețelor delimitatoare interioare, $\bar{\alpha} \simeq 0{,}9\ldots1$, nu se poate utiliza relația lui Sabine, ea fiind imprecisă și se va lucra numai cu formula lui Eyring.

Este de menționat însă faptul că nici formula lui Eyring nu oferă o precizie prea mare în toate cazurile, deoarece la deducerea ei, după cum s-a văzut, a fost făcută ipoteza că suprafețele delimitatoare prezintă o uniformitate în ceea ce privește absorbția acustică.

Scanned with OKEN Scanner

Există însă situații destul de numeroase în practică cînd structurile și materialele absorbante de sunet nu sînt repartizate în mod uniform în încăpere, ci sînt răspîndite în mod întîmplător pe pereți. În acest caz, cînd absorbția suprafețelor delimitatoare ale unei încăperi este foarte neomogenă (de exemplu, cînd pe un același perete se află o serie de suprafețe $S_1 S_2 \ldots S_n$ avînd coeficienți de absorbție foarte diferiți $\alpha_1, \alpha_2 \ldots \alpha_n$), calculul duratei de reverberație se face cu o altă relație, cunoscută în acustică sub numele de **formula lui Millington.**

$$T_M = \frac{24 \ln 10 \, V}{-c \left[\Sigma S_i \ln (1 - \alpha_i)\right]} = \frac{0{,}164 \, V}{-\Sigma S_i \ln (1 - \alpha_i)} . \qquad (2.35)$$

La rîndul ei, relația lui Millington are un domeniu de aplicabilitate restrîns, datorită faptului că în cazul în care o parte S_i din suprafața totală a încăperii are un coeficient de absorbție acustică apropiat de valoarea 1 ($\alpha_i = 1$), indiferent de mărimea lui S_i, prin calcul se obține $T = 0$, ceea ce nu corespunde realității,

Întrucît coeficientul α_i este funcție de frecvență, rezultă că și durata de reverberație T variază cu frecvența, astfel încît pentru fiecare încăpere se poate trasa curba duratei de reverberație în funcție de frecvență, în abscisă fiind frecvențele, iar în ordonată durata de reverberație.

În sălile mari, și în special la frecvențele mai mari decît 1 000 Hz, în atenuarea undelor acustice mai intervine și absorbția datorită propagării sunetului în aer, care se datorește viscozității mediului, conductibilității, radiației termice și schimbului intermolecular de energie. În încăperile de dimensiuni mari, liberul parcurs mediu fiind mare, absorbția aerului este importantă și trebuie inclusă în calculul duratei dereverberație, pentru că ea contribuie la mărirea absorbției acustice totale a încăperii, deci la micșorarea duratei de reverberație a acesteia.

Absorbția aerului este determinată prin termenul $4mV$, care se adaugă la numitorul relației de calcul a duratei de reverberație. Termenul $4mV$ reprezintă de fapt produsul dintre constanta de atenuare a sunetului m și volumul încăperii V multiplicat cu 4.

Formula lui Eyring (2.33), corectată cu termenul care ține seamă de absorbția sunetului în aer, capătă forma:

$$T = \frac{0{,}164 \, V}{-S \ln (1 - \bar{\alpha}) + 4mV} . \qquad (2.36)$$

Pentru aplicațiile practice se pot folosi valorile constantei de atenuare m date în cap. 4 (v. fig.4.36).

2.2.3. *Cîmpul acustic direct și cîmpul acustic reverberat*

Cînd se studiază cîmpul acustic într-o încăpere se iau în considerare cele două părți distincte ale lui: cîmpul acustic direct și cîmpul acustic reverberat. Cîmpul acustic direct conține toate undele acustice care se propagă pînă în momentul în care se produce prima reflexie pe suprafețele delimitatoare ale încăperii. Cîmpul acustic reverberat cuprinde toate undele acustice care se formează prin reflexii repetate, după producerea primei reflexii.

Densitatea de energie în regim staționar w_T, este egală cu suma densităților de energie acustică corespunzătoare cîmpului acustic direct w_D și cîmpului acustic reverberat w_R:

$$w_T = w_D + w_R. \tag{2.37}$$

Însă se știe că

$$w_T = \frac{4\,\mathcal{P}_a}{Ac} = \frac{4\,\mathcal{P}_a}{\bar{\alpha}\,Sc}. \tag{2.38}$$

Datorită puterii $\mathcal{P}_a$ emise de sursă se stabilește o densitate de energie directă w_D în încăpere, înainte ca sunetul să sufere vreo reflexie

$$w_D = \frac{\mathcal{P}_a}{V} t_m = \frac{\mathcal{P}_a}{V} \frac{l_m}{c} = \frac{4\,\mathcal{P}_a}{Sc}. \tag{2.39}$$

Dacă în relația (2.37) se introduc valorile lui w_S și w_D din relațiile (2.38) și (2.39), se poate deduce valoarea densității de energie reverberată w_R

$$w_R = w_T - w_D = \frac{4\,\mathcal{P}_a}{\bar{\alpha}\,Sc} - \frac{4\,\mathcal{P}_a}{Sc} = \frac{4\,\mathcal{P}_a}{\bar{\alpha}\,Sc}(1-\bar{\alpha}) = \frac{4\,\mathcal{P}_a}{c} \cdot \frac{1-\bar{\alpha}}{\bar{\alpha}\,S}. \tag{2.40}$$

Inversul factorului $\frac{1-\bar{\alpha}}{\bar{\alpha}\,S}$ reprezintă *constanta încăperii* și se obișnuiește să se noteze cu R

$$\frac{\bar{\alpha}}{1-\bar{\alpha}}\,S = R. \tag{2.41}$$

Cu această notație expresia (2.40) devine

$$w_R = \frac{4\,\mathcal{P}_a}{c\,R}. \tag{2.42}$$

Trecînd la relațiile cunoscute între presiunile acustice efective P_{ef} și densitățile de energie w în cîmpul acustic stabilit într-o încăpere, se poate scrie

$$w_D = \frac{P^2_{efD}}{\rho_0 c^2} = \frac{\mathcal{P}_a}{4\pi r^2 c}\ ;\ P^2_{efD} = \rho_0 c \frac{\mathcal{P}_a}{4\pi r^2}, \tag{2.43}$$

unde r este distanța de la sursă la un punct considerat în încăpere și

$$w_R = \frac{P^2_{efR}}{\rho_0 c^2} = \frac{4\mathcal{P}_a}{cR},\ \text{iar}\ P^2_{efR} = \rho_0 c \frac{4\mathcal{P}_a}{R}. \tag{2.44}$$

În problemele de sonorizare interesează presiunea acustică totală care se creează într-un punct din încăpere. Ea va rezulta din însumarea celor două presiuni, ale căror expresii sînt date de relațiile (2.43) și (2.44).

$$P^2_{ef} = \rho_0 c \mathcal{P}_a \left(\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right). \tag{2.45}$$

Din practică se știe că, într-o încăpere, sunetele reflectate suprapunîndu-se peste cele directe, creează la o anumită distanță față de sursa acustică un nivel de presiune acustică mai mare decît în cazul spațiului liber, pentru aceeași putere acustică radiată de sursă.

Uneori este necesar să se cunoască limita distanței față de sursa acustică pentru care valoarea densității energiei cîmpului acustic direct este egală cu cea a cîmpului acustic reverberat. Această limită este caracterizată prin distanța r_0, denumită și *distanța normală de la planul de prezență* sau *distanța limită*. În acest caz valoarea distanței r_0 poate fi dedusă din relația (2.45), obținîndu-se:

$$r_0 = \frac{\sqrt{R}}{7{,}1}\ [\text{m}]. \tag{2.46}$$

Pentru distanța $r<r_0$ cîmpul acustic direct este preponderent pe cîtă vreme pentru $r>r_0$ este preponderent cel reverberat.

În practică se constată că r_0 are valori mici, de ordinul metrilor, variind o dată cu valorile constantei încăperii R.

La calculul puterii instalate în cazul sonorizării unei săli se ține seamă de faptul că, dacă aceasta are suprafețe delimitatoare reflectante, se poate neglija în calcul cîmpul acustic direct. Nivelul de intensitate se calculează în acest caz ținînd seamă numai de cîmpul acustic reverberat.

Scanned with OKEN Scanner

În presupunerile de pînă acum s-a considerat că sursa acustică radiază uniform în toate direcțiile, lucru care în realitate nu se întîmplă decît foarte rar. Orice sursă acustică utilizată în practică este totuși directivă și se caracterizează printr-un factor de directivitate Q_D, care are o valoare cu atît mai mare cu cît sursa acustică este mai directivă; în practică $1 < Q_D < 8$.

În aplicațiile sonorizării se ține seamă de faptul că sursele sînt directive și în acest caz relația (2.45) devine

$$P_{ef}^2 = \rho_0 c \mathcal{P}_a \left(\frac{Q_D}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right). \tag{2.47}$$

Întrucît directivitatea sursei influiențează numai cîmpul acustic direct, relația (2.46) se modifică după cum urmează:

$$r_0 = \frac{\sqrt{Q_D R}}{7{,}1} \text{ [m]}. \tag{2.48}$$

Relația (2.48) atrage atenția asupra faptului că, cu cît directivitatea sursei este mai mare, cu atît se mărește și distanța r_0.

Deoarece într-o încăpere există un cîmp acustic obținut din suprapunerea a două cîmpuri acustice, unul direct și celălalt reverberat, rezultă că în încăperi reverberația contribuie în același timp la mărirea intensității acustice a unei surse de putere acustică dată. Se știe că intensitatea acustică în regim staționar I_S este

$$I_S = \frac{\mathcal{P}_a}{A}. \tag{2.49}$$

Dacă în relația (2.49) se înlocuiește A cu $\frac{0{,}164\ V}{T}$, se obține

$$I_S = \frac{\mathcal{P}_a T}{0{,}164\ V} = 6{,}10 \frac{\mathcal{P}_a}{V} T. \tag{2.50}$$

Relația (2.50) arată că intensitatea acustică I_S este proporțională cu puterea acustică a sursei, dar în același timp și cu durata de reverberație a încăperii.

Aigner a stabilit o relație care permite calculul nivelului de intensitate, în dB, în regim staționar, cunoscîndu-se puterea acustică a sursei, durata de reverberație și volumul sălii.

Formula lui Aigner este următoarea

$$L_I = 74 + 10 \lg \frac{\mathcal{P}_a}{V} T, \tag{2.51}$$

unde: L_I este nivelul de intensitate, în dB;
$\mathcal{P}_a$ — puterea acustică a sursei, în μW;
V — volumul încăperii, în m^3;
T — durata de reverberație a încăperii, în s.

La sonorizarea încăperilor se pune și problema inversă, și anume, de a se calcula puterea acustică necesară pentru a crea un nivel L_I în regim staționar, cunoscîndu-se volumul sălii și durata de reverberație a ei.

2.3. Proprietăți acustice ale încăperilor explicate cu ajutorul acusticii geometrice

Întrucît într-o sală, un ascultător, situat într-un anumit punct, recepționează atît sunetele care provin direct de la sursă, cît și sunetele ce ajung la el după ce s-au reflectat de suprafețele delimitatoare ale sălii, se înțelege că pentru oricare alt punct în care se va afla ascultătorul, condițiile de audibilitate vor varia în funcție de modul în care acest ascultător recepționează undele reflectate în raport cu undele emise de sursă.

Teoriile binecunoscute ale lui G. Lyon și Sabine sînt bazate pe importanța percepției sonore a undei directe și a undelor reflectate. Cercetările mai recente arată faptul că sunetul direct nu este perceptibil decît la o mică distanță față de sursă și că sunetele reflectate sînt acelea care constituie partea esențială dintr-un sunet perceput în spațiile închise, începînd de la o anumită distanță față de sursa acustică.

2.3.1. *Ecoul simplu și ecoul repetat*

În urma studiilor întreprinse s-a constatat că, dacă un ascultător situat într-un punct oarecare al sălii recepționează undele acustice reflectate într-un interval de timp care nu depășește 50 ms (după ce a perceput sunetul direct emis de sursă), atunci audiția nu este perturbată, ci, din contră, este influențată într-un mod favorabil. Dacă însă diferența de timp care există între momentul perceperii sunetului direct și cel al perceperii sunetului reflectat depășește valoarea cuprinsă între 50 și 67 ms, deci dacă diferența de parcurs între sunetele reflectate și sunetul direct este mai mare de 17 — 22 m, atunci există o separație totală în percepție pentru sunetul direct și cel reflectat. În acest caz, sunetele sînt percepute în mod distinct unul de celălalt și în sală apar

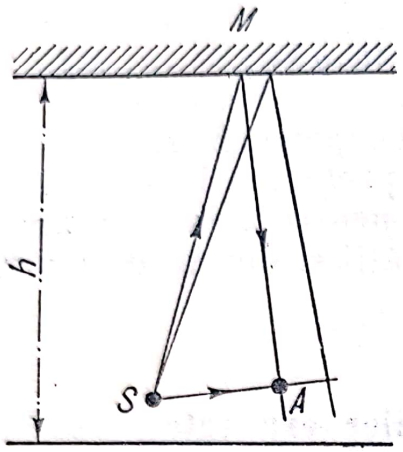


Fig. 2.3. Apariția ecoului cînd $h = 12$ m și $SMA - SA \geqslant 17$ m.

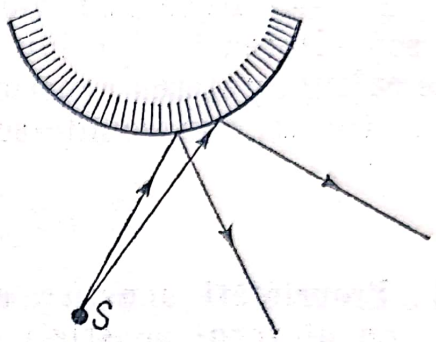


Fig. 2.4. Formă difuzantă convexă.

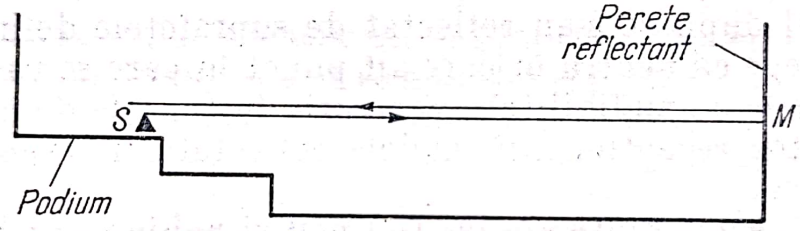


Fig. 2.5. Riscul apariției ecoului pentru instrumentiști cînd peretele din fund al sălii este reflectant.

ecouri care influențează în mod defavorabil audiția. De exemplu, în cazul încăperii cu plafonul situat la înălțimea $h = 12$ m (fig. 2.3), apare un ecou bine evidențiat, întrucît diferența de parcurs între unda reflectată și cea directă $SMA - SA \geqslant 17$ m.

Acest lucru se poate evita dacă se aplică structuri absorbante pe suprafețele din jurul punctului M sau dacă se adoptă o formă convexă pentru plafon, de felul celei din fig. 2.4.

În sala prezentată parțial în fig. 2.5 există un risc de sesizare a ecoului de către executanți, care nu se poate evita decît tratînd absorbant peretele din fund al sălii care cuprinde punctul M din figură.

În timp ce ecoul simplu este repetarea perceptibilă a unui sunet primar, apariția mai multor ecouri succesive constituie un ecou repetat, al cărui caracter depinde de viteza de succesiune a ecourilor produse. Dacă, de exemplu, ecourile care se succed sînt distanțate suficient în timp, atunci un cuvînt, pronunțat cu o anumită intensitate de către o persoană, se va auzi repetat de cîteva ori. Întrucît ecourile întîrziate

aduc, în general, din ce în ce mai puțină energie acustică, un cuvînt pronunțat se va auzi de la o reflexie a undei acustice la alta cu un nivel din ce în ce mai slab. Cel mai adesea se ivește cazul cînd ecourile individuale se succed rapid unele după altele și se suprapun parțial, astfel încît numai o parte din ce în ce mai mică a unui cuvînt rostit mai este reflectată.

2.3.2. *Ecoul de fluturare*

Într-o încăpere pot apărea fenomene supărătoare care îi strică însușirile acustice. Unul din aceste fenomene se manifestă prin aceea că undele acustice sînt reflectate alternativ de doi pereți care se găsesc față în față. Un ascultător situat între pereții amintiți va sesiza acest fenomen în mod neplăcut, producerea reflexiilor alternative repetate dînd o senzație cu totul particulară.

Întrucît reflexiile apar în special atunci cînd distanța dintre pereți este mică, ecourile se succed foarte rapid între ele, fenomenul primind denumirea de ecou de fluturare.

Ecoul de fluturare nu trebuie confundat cu ecoul propriu-zis, care, după cum s-a amintit, reprezintă o reflexie întîrziată cu o durată mai mare decît timpul necesar unui ascultător ca să distingă sunetul direct de cel reflectat. În cazul prezentat în fig. 2.6, ascultătorul, aflîndu-se între pereții reflectanți P_1 și P_2, percepe sunetele emise de sursa S, sesizînd și un ecou cînd este îndeplinită condiția $d_2 + d_1 = l > 11$ m.

Ecoul de fluturare reprezintă o oscilație unidimensională, slab amortizată, percepută ca o serie de impulsuri acustice de tărie descrescîndă. Aceasta apare, de obicei, în încăperile cu absorbție mare, unde există două suprafețe paralele foarte reflectante, situate la o distanță mică una de cealaltă. El mai apare și atunci cînd undele acustice ajung de la o suprafață reflectantă la alta prin intermediul unei a treia suprafețe reflectante (fig. 2.7). Ecoul de fluturare are un caracter specific pulsatoriu.

Se consideră situația prezentată în fig. 2.8, în care sursa acustică S se află la distanțele x_1 și $(l - x_1)$ de cei doi pereți reflectanți P_1 și P_2, iar ascultătorul se găsește în punctul A, la distanța x_2 de peretele P_1.

Ascultătorul situat în punctul A percepe sunetul sursei S după timpul t_{SA} necesar undei acustice să parcurgă traseul direct SA.

Acest timp poate fi calculat cu relația

$$t_{SA} = \frac{x_2 - x_1}{c}, \tag{2.52}$$

unde c este viteza sunetului în aer.

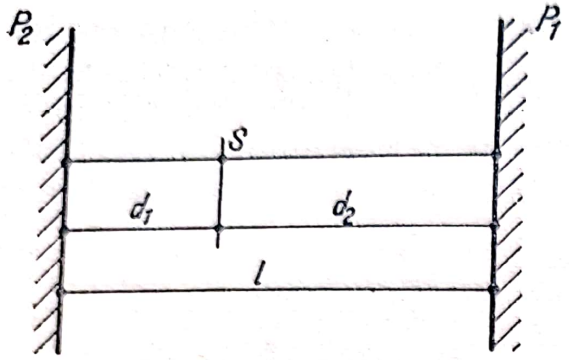
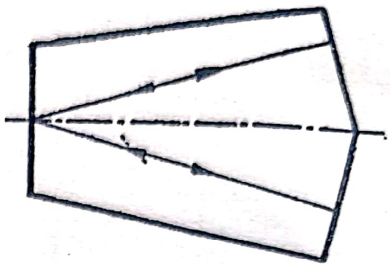
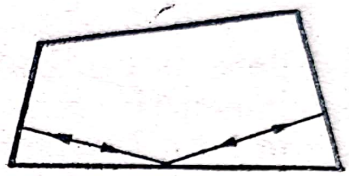


Fig. 2.6. Producerea ecoului propriu-zis cînd $d_1 + d_2 = l > 11$ m.





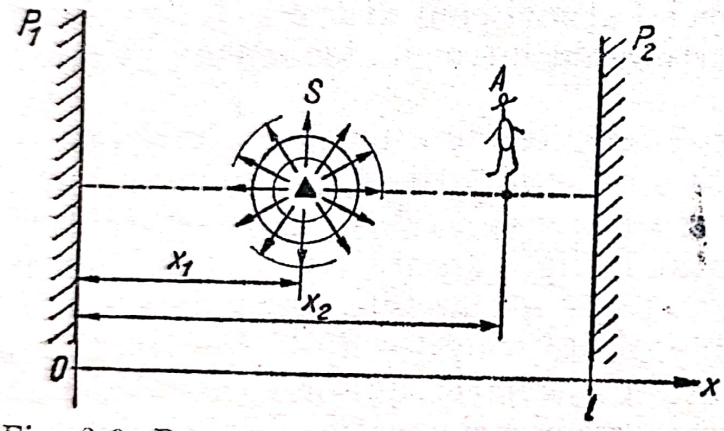


Fig. 2.8. Propagarea undelor pe cale directă și prin reflexie care provoacă apariția ecoului de fluturare.

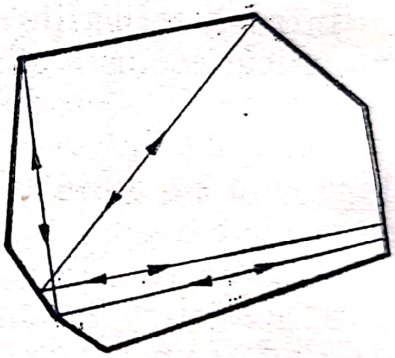


Fig. 2.7. Posibilitatea producerii ecoului de fluturare prin reflexia undelor acustice pe o a treia suprafață reflectantă.

Timpul t_{S1A} necesar undei acustice reflectate de peretele P_2 să parcurgă traseul $S - P_2 - A$ este

$$t_{S1A} = \frac{l - x_1 + l - x_2}{c} = \frac{2l - (x_1 + x_2)}{c}. \qquad (2.53)$$

Timpul t_{S0A} necesar undei acustice reflectate de peretele P_1 să parcurgă traseul SP_1A este

$$t_{S0A} = \frac{x_1 + x_2}{c}. \qquad (2.54)$$

Timpul t_{S0lA}, necesar undei acustice reflectate de pereții P_2 și P_1 să parcurgă traseul SP_1P_2A este:

$$t_{S0lA} = \frac{l + x_1 + l - x_2}{c} = \frac{2l + (x_1 - x_2)}{c}. \qquad (2.55)$$

Din relațiile (2.52) — (2.55) se observă că toate duratele de parcurs considerate sînt inferioare valorii $\frac{2l}{c}$, care reprezintă timpul necesar sunetului să parcurgă drumul dus și întors între cei doi pereți reflectanți P_1 și P_2. Acest lucru are drept urmare faptul că un impuls sonor produs se va auzi deci de 4 ori, la intervale succesive mai mici decît $\frac{2l}{c}$ și apoi va continua să se repete pînă la stingerea lui totală, care poate dura destul de mult.

Această succesiune de sunete repetate este percepută de ureche ca un fel de prelungire sonoră întreruptă rapid, un fel de *fluturare* sesizată de ureche cu foarte mare claritate. Fenomenul este foarte supărător, fiind perceput, de exemplu, pentru o distanță de 6,8 m între pereții reflectanți ca o vibrație pulsatorie corespunzătoare unei frecvențe de 25 Hz.

Frecvența s-a calculat ca fiind inversul timpului necesar undei acustice să parcurgă drumul dus și întors între cei doi pereți reflectanți.

Ecoul de fluturare mai poate apărea, de exemplu, și în camerele de locuit în care mobila este dispusă pe un singur perete, celălalt rămînînd foarte reflectant, în anumite săli netratate acustic, în coridoare cu pereți reflectanți etc.

Fiind un fenomen perturbator, ecoul de fluturare trebuie evitat, fie prin înclinarea convenabilă a pereților reflectanți, fie prin tratarea din punct de vedere acustic a celor doi pereți paraleli.

2.3.3. *Focalizări și concentrări ale undelor acustice*

Un alt fenomen supărător apare într-o încăpere atunci cînd în anumite puncte ale sale converg mai multe unde acustice, formînd focare acustice. Cel mai adesea, focalizările acustice apar ca urmare a adoptării formelor concave sau cvasisferice pentru suprafețele interioare ale

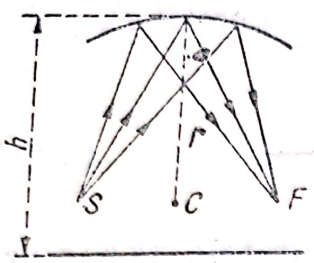


Fig. 2.9. Focalizări acustice favorizate de formele concave ale unor suprafețe interioare:
S — sursa acustică; C — centrul suprafeței sferice; F — punctul de focalizare a undelor acustice.

sălilor. În fig. 2.9, se poate vedea fenomenul de focalizare acustică. La nivelul ascultătorului are loc o concentrare a energiei acustice reflectate cînd $\frac{h}{2} < r < 2h$; dacă $r > 2h$ se pot produce chiar focalizări duble. Din fig. 2.10 se observă că este posibil ca două persoane aflate într-o încăpere în punctele S,A să vorbească între ele fără ca a treia persoană situată între primele două, în punctul B, să audă ceva.

În scopul înlăturării focalizărilor acustice este necesară evitarea suprafețelor concave, sau dacă acest lucru este imposibil din motive arhitectonice, trebuie ca suprafețele cu concavitatea în interior să fie prevăzute cu structuri absorbante, pentru reducerea la minimum a energiei acustice reflectate de aceste suprafețe.

O soluție favorabilă, din punctul de vedere al formelor cerute de acustică, o reprezintă suprafețele convexe difuzante de sunet, care uniformizează, într-o anumită măsură, cîmpul acustic din interiorul încăperilor.

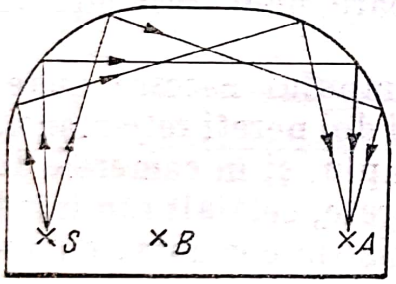


Fig. 2.10. Focalizări acustice care defavorizează auditia în anumite puncte.

În cazul vechilor săli de operă, de teatru, de concert etc. balcoanele și pereții ornamentați cu statuete, ștucaturi și alte forme în relief prezintă spre interiorul sălii suprafețe convexe de diferite mărimi și îndeplinesc rolul de elemente difuzante. În sălile moderne de teatru, dar mai ales în cele de concert, există alt gen de elemente difuzante, de forme geometrice diverse, ca: semisfere, semicilindri, segmente de piramidă, segmente de prismă etc.

2.3.4. *Unele soluții constructive cu aplicabilitate la încăperile destinate sonorizărilor*

Metodele de studiu folosite de acustica geometrică, analogă opticii geometrice, permit aflarea unei serii de date utile pentru studiul cîmpului acustic în special în sălile mari.

Studiul distribuției razelor acustice directe și reflectate într-o încăpere se efectuează în plan orizontal și în plan vertical.

În cazul sălilor mari, interesează, pe de-o parte, dirijarea energiei acustice reflectate spre anumite zone din sală, iar pe de altă parte, posibilitatea creării în interiorul încăperii a unui cîmp acustic cît mai uniform cu putință. Forma dată sălii trebuie să fie astfel, încît în primul rînd să se evite apariția ecourilor și să se concentreze tot sunetul util spre ascultători, iar în al doilea rînd să încapă un număr maxim de ascultători pentru volumul dat al sălii. În fig. 2.11, *a* este prezentat un exemplu de dirijare necorespunzătoare a energiei sonore spre auditoriu, pe cîtă vreme în fig. 2.11, *b*, *c*, *d*, *e*, *f* sînt date cîteva exemple de bună dirijare a energiei sonore reflectate.

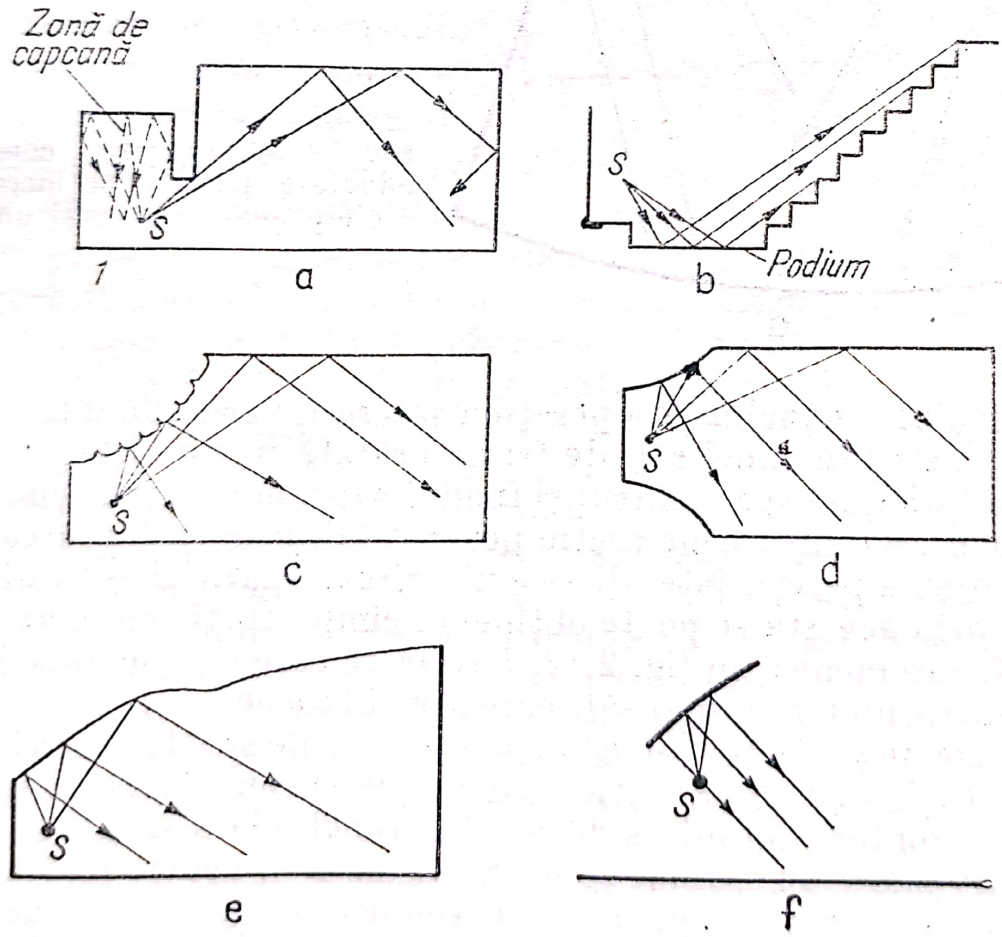


Fig. 2.11. Dirijarea energiei acustice de către suprafețe plane, convexe și parabolice:

a — sală de spectacole nestudiată din punct de vedere acustic; *b* — teatru în aer liber în care există o bună repartiție a reflexiilor; *c* — sală de spectacol cu auditoriu; *d* — sală de spectacole cu auditoriu; *e* — reflector acustic dispersor de energie pe o suprafață largă; *f* — reflector acustic simplu pe o suprafață îngustă.

Scanned with OKEN Scanner

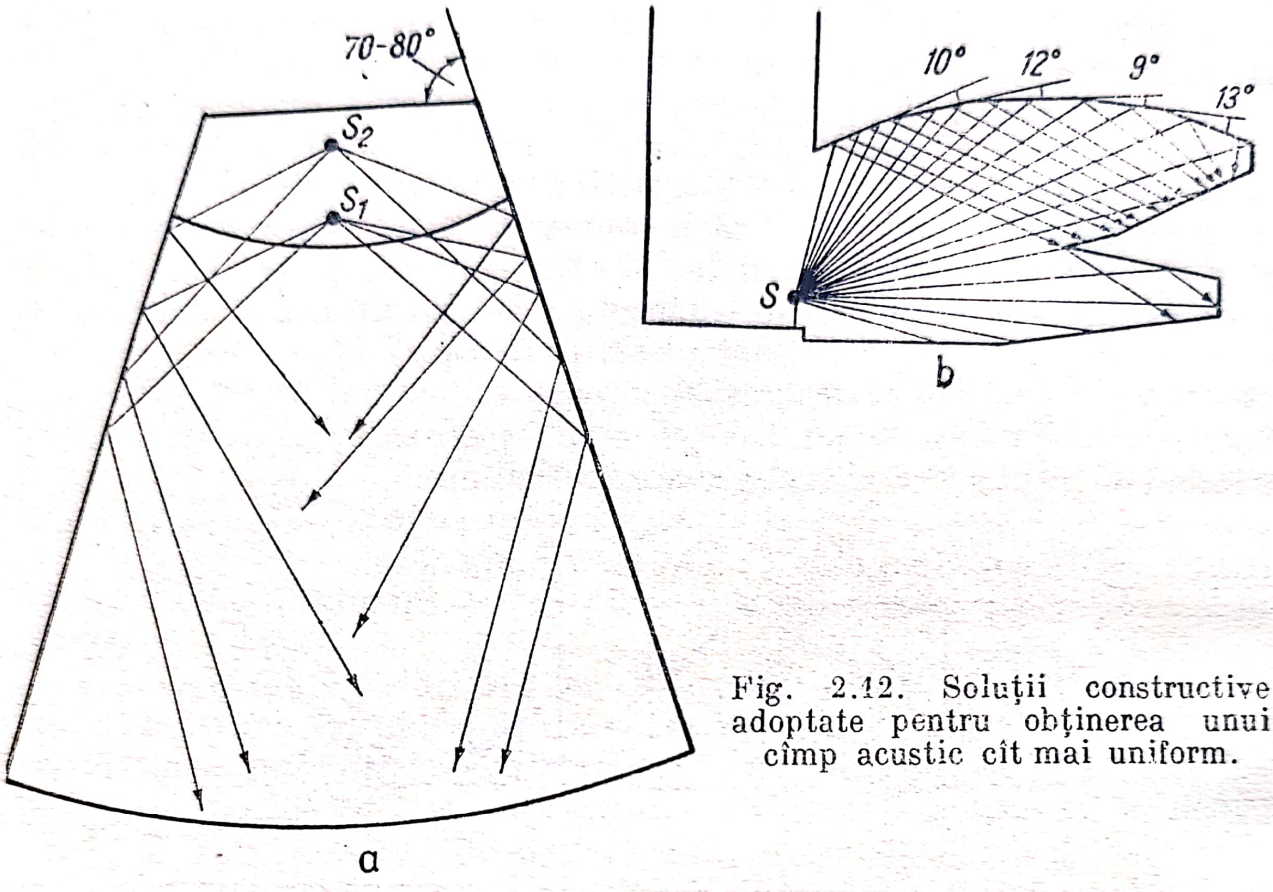


Fig. 2.12. Soluții constructive adoptate pentru obținerea unui cîmp acustic cît mai uniform.

În principiu, o înclinare a pereților laterali, variabilă între 5 și 12°, permite construirea unei săli de forma arătată în fig. 2.12, *a*, în care undele sînt dirijate spre centrul și fundul sălii, adică spre zonele utile. Adoptînd o asemenea construcție pentru săli, prin înlăturarea paralelismului dintre pereții laterali se evită riscul apariției ecoului de fluturare și prin aceasta se poate obține un cîmp acustic cît mai uniform posibil. De asemenea, în fig. 2.12, *b* se arată care sînt înclinările favorabile pentru plafonul unei săli care are și balcon.

În fazele de proiectare acustică a unei săli de spectacol trebuie dată o mare atenție evitării apariției ecoului, în special în cazul sălilor cu secțiune orizontală apropiată de cea dreptunghiulară și la care lățimea este relativ mare, de ordinul 20 m. Se va avea în vedere mai ales zona ocupată de spectatorii din primele rînduri de fotolii, zona *A* din fig. 2.13, *a*. Dacă diferența de drum dintre sunetul reflectat și cel direct depășește 17 m ($SPA\text{-}SA > 17$ m sau $SMA\text{-}SA > 17$ m) apare ecoul și situația nu se poate îmbunătăți decît prin aplicarea unui tratament acustic special pereților laterali ai sălii, care să fie parțial absorbant și parțial difuzant. Pentru a se evita apariția ecoului, în cazul existen-

ței a două surse care emit simultan (fig.2.13,*b*), trebuie să fie îndeplinită condiția restrictivă $S_1MF - S_2F < 22$ m, de unde se deduce că distanța dintre cele două surse S_1S_2 trebuie să fie de maximum 11 m. Lungimea maximă a sălii nu trebuie să depășească 40 m.

Tavanul este alt element al unei săli care joacă un rol important în dirijarea energiei acustice în zona dorită. Astfel se explică de ce în multe săli de teatru sau de conferințe se construiesc în special deasupra scenei suprafețe reflectante cu rolul de a crea undelor posibilitatea de a se reflecta de tavanul sălii pentru a le dirija cît mai judicios către ascultătorii plasați în diversele zone ale sălii (fig. 2.14).

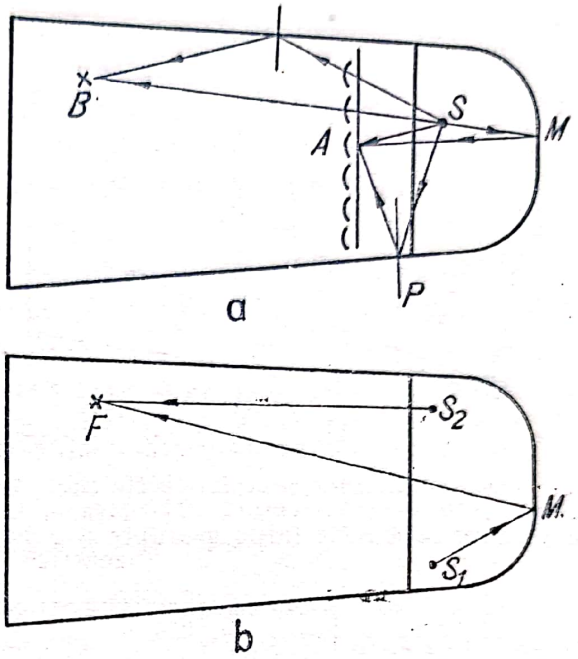


Fig. 2.13. Studiul unei săli cu ajutorul epurei geometrice în plan.

În majoritatea sălilor moderne de concert, în zona podiumului orchestrei se recomandă a se dirija reflexiile undelor acustice produse de diferitele instrumente muzicale ale orchestranților astfel, încît executanții să se poată auzi între ei. Dirijarea locală pe toată suprafața podiumului ocupată de orchestră se realizează prin înclinarea adecvată a pereților laterali ai podiumului și prin introducerea în plus a unor suprafețe reflectante deasupra orchestrei. Este important să se studieze mai ales reflexia undelor acustice pe acea porțiune a tavanului care se găsește în față, deasupra podiumului ocupat de soliști și de o parte din orchestranți. Din calculele efectuate a rezultat că, dacă înălțimea tavanului unei săli este mai mare de 10 m, diferența de timp în care ascultătorii așezați în primele rînduri percep sunetul direct și sunetele reflectate corespunzătoare este mai mare decît 50 ms și în consecință se produce ecoul.

De multe ori necesitățile constructive și cerințele arhitecturale impun realizarea unei înălțimi a plafonului mai mare de 10 m. În acest caz, pentru remedierea situației se folosesc reflectoare acustice situate la înălțimea de aproximativ 10 m (fig. 2.14, *c*), care preiau funcțiile acustice necesare ale plafonului, dirijînd — fără pericolul apariției ecoului — undele acustice reflectate către auditoriu. Aceste reflectoare

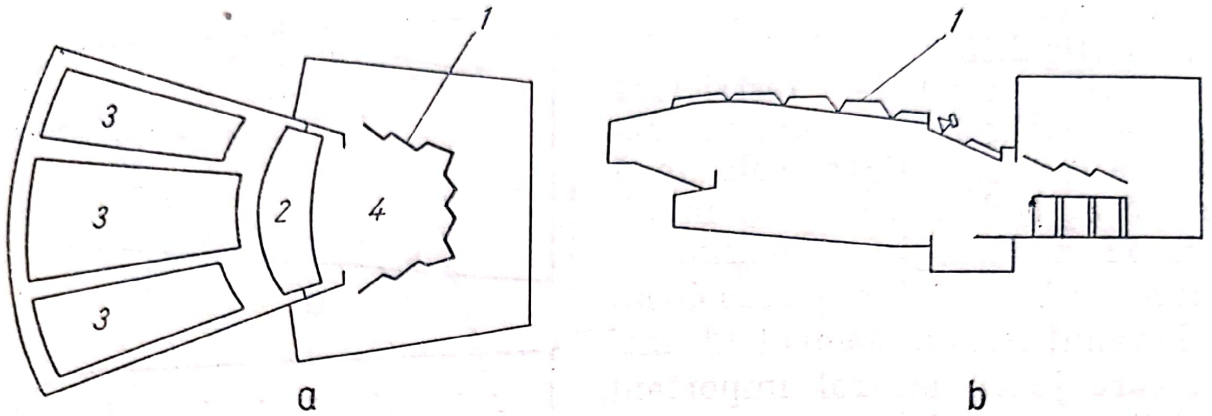


Fig. 2.14. Dispunerea unor suprafețe reflectante într-o sală de spectacole:
a — dispunerea unor suprafețe reflectante împrejurul scenei (secțiune orizontală — plan); *1* — pereți reflectanți ai scenei; *2* — fosa orchestrei; *3* — auditoriu; *4* — scenă; *b* — dispunerea unor suprafețe reflectante deasupra întregului auditoriu (secțiune verticală): *1* — reflectoare acustice special studiate.

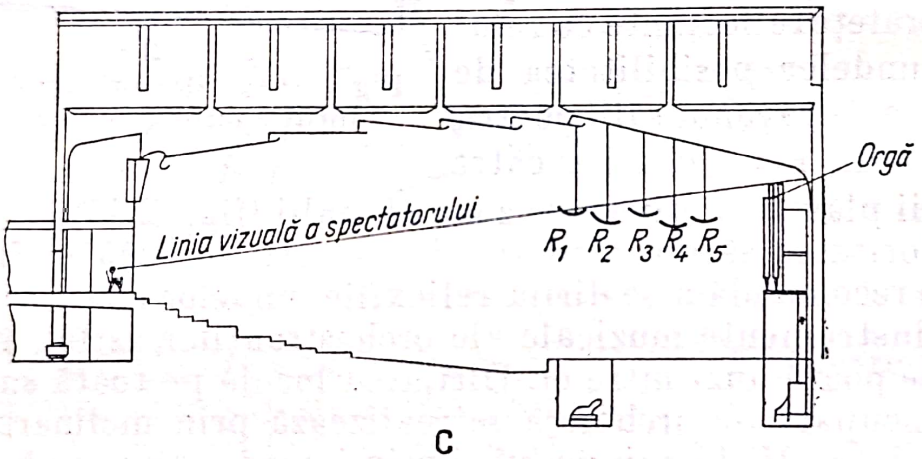


Fig. 2.14:
c — dispunerea unor reflectoare acustice (optic transparente) $R_1 \ldots R_5$ deasupra podiumului orchestranților, într-o sală de concert.

sînt realizate din materiale transparente optic (plexiglas, sticlă)[1], putîndu-se monta pe ele și corpuri de iluminat.

2.4. Proprietăți acustice ale încăperilor explicate cu ajutorul acusticii ondulatorii

Cîmpul acustic a fost definit ca acea parte a spațiului care este sediul unor perturbări acustice. În interiorul încăperilor, spațiul delimitat de suprafețele care mărginesc volumul respectiv poate fi și el sediul

[1] Materialele utilizate în construcția reflectoarelor acustice trebuie să prezinte un coeficient de transmisibilitate foarte mic, deci trebuie să posede o densitate mare.

unor perturbări acustice care generează un cîmp acustic. Acest cîmp acustic se poate studia și în ipoteza că perturbațiile ce au loc sînt de fapt unde acustice cu caracteristici cunoscute. Spre deosebire de cazul propagării undelor acustice într-un mediu extins la infinit, cînd există numai unde progresive, într-un mediu limitat după cele trei direcții — cum e cazul încăperilor obișnuite — undele acustice suferă reflexii pe suprafețele delimitatoare ale spațiului și se creează unde reflectate care se suprapun peste undele acustice directe creînd un regim de unde staționare.

În cele ce urmează se prezintă cîteva proprietăți acustice ale unor încăperi de formă paralelipipedică întîlnite în majoritatea cazurilor în aplicațiile practice.

2.4.1. *Încăpere paralelipipedică cu pereți reflectanți*

Într-o încăpere paralelipipedică se constată că apar anumite moduri de vibrație, denumite și frecvențe proprii, care pot fi determinate cu relația

$$f_n = \frac{c}{2}\sqrt{\left(\frac{n_x}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{l_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{l_z}\right)^2}, \tag{2.56}$$

în care l_x, l_y, l_z sînt laturile paralelipipedului;
n_x, n_y, n_z — numere întregi cu valori între 0 și ∞;
c — viteza sunetului.

Se observă că într-o încăpere dată există un număr infinit de moduri de vibrație, în funcție de numărul n, care poate lua valori întregi cuprinse între zero și infinit. Din relația (2.56) se constată, de asemenea, că valorile frecvențelor proprii depind de forma încăperii și de dimensiunile acesteia.

Modurile de vibrație într-o încăpere pot fi împărțite în trei categorii: prima categorie corespunde unor valori ale lui n_x, n_y și n_z diferite de zero și undele se numesc oblice[1]), în cea de a doua categorie corespunzătoare undelor tangențiale[2]) una din aceste valori este egală cu zero, iar

[1]) Undele oblice reprezintă o categorie de unde staționare provenite din unde directe și reflectate, formate din șase unde acustice, care se propagă două cîte două de-a lungul a trei axe rectangulare și sînt reflectate de toate cele șase suprafețe delimitatoare ale unui spațiu închis.

[2]) Undele tangențiale reprezintă o categorie de unde staționare (provenite din unde directe și reflectate), formate din patru unde care se propagă două cîte două de-a lungul a două axe rectangulare și sînt reflectate de patru pereți. Undele tangențiale se propagă paralel cu doi pereți.

în cea de-a treia categorie — unde axiale[1] — două din valorile lui n sînt nule.

Numărul de frecvențe proprii ale unei încăperi paralelipipedice care sînt inferioare unei frecvențe date. Pentru a găsi numărul de frecvențe proprii ale unei încăperi paralelipipedice, se observă că în conformitate cu relația (2.56), fiecare frecvență proprie poate fi considerată ca un vector în spațiul frecvențelor avînd în raport cu un sistem de trei axe rectangulare componentele:

$$n_x \frac{c}{2l_x}\ ;\quad n_y \frac{c}{2l_y}\ ;\quad n_z \frac{c}{2l_z}\ .$$

Deci, fiecare mod normal de vibrație poate fi reprezentat în spațiul frecvențelor printr-un punct P. Spațiul frecvențelor are coordonatele x, y, z, fiecare din ele fiind un număr întreg n_x, n_y, n_z de unități de lungime $\frac{c}{2l_x}$, $\frac{c}{2l_y}$, $\frac{c}{2l_z}$. Mărimea vectorului care are originea în 0 (originea axelor de coordonate) și vîrful în punctul P considerat reprezintă (la o scară convențional aleasă) frecvența modului de vibrație corespunzător al încăperii.

În fig. 2.15 sînt arătate punctele reprezentative ale fiecărei frecvențe proprii care se află în mijlocul unui paralelipiped elementar ale cărui laturi sînt $\frac{c}{2l_x}$; $\frac{c}{2l_y}$; $\frac{c}{2l_z}$.

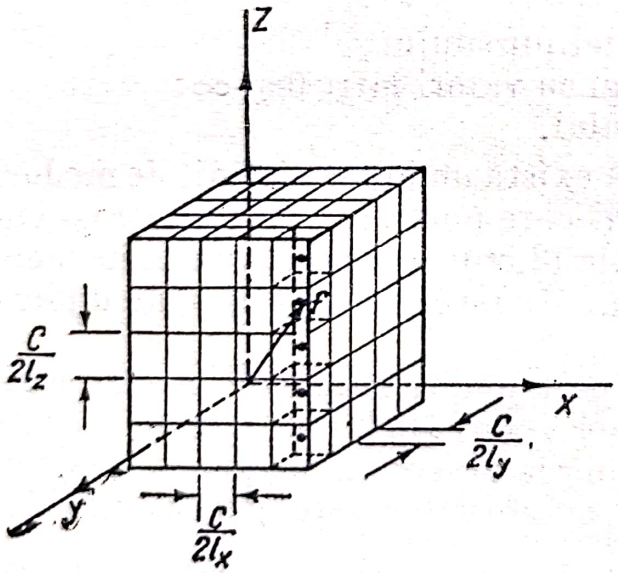


Fig. 2.15. Reprezentarea geometrică a frecvențelor proprii.

În spațiul frecvențelor un astfel de paralelipiped elementar are volumul:

$$\left(\frac{c}{2l_x}\right)\cdot\left(\frac{c}{2l_y}\right)\cdot\left(\frac{c}{2l_z}\right)=\frac{c^3}{8V}\ , \qquad (2.57)$$

unde $V = l_x\, l_y\, l_z$ este volumul încăperii considerate.

Metoda de reprezentare a modurilor normale de vibrație ale unei încăperi, printr-o rețea de puncte reprezentative în spațiul

[1]) Undele axiale reprezintă o categorie de unde staționare formate din două unde (o undă directă și, una reflectată) care se propagă în lungul unei axe fiind reflectate de doi pereți opuși ai încăperii. Aceste unde există în special în tuburile sonore.

Scanned with OKEN Scanner

frecvențelor, permite calculul numărului și al tipurilor de moduri de vibrație care au frecvențele proprii cuprinse într-un interval de frecvențe determinat.

Numărul de frecvențe proprii N inferioare unei frecvențe determinate f_0, este egal cu numărul de puncte care au drept coordonate numere întregi de unități corespunzătoare celor trei axe și care se găsesc în interiorul octantului pozitiv sferic de rază f_0, cu centrul în origina axelor de coordonate. Deci, numărul total de moduri de vibrație, ale căror frecvențe sînt mai mici decît o anumită frecvență, este egal cu numărul punctelor caracteristice cuprinse în octantul sferic amintit. Punctul fiecărei frecvențe aflîndu-se în centrul unui volum elementar egal cu $\frac{c^3}{8V}$ și care face parte din volumul octantului de sferă $\left(V_{oct} = \frac{\pi f^3}{6}\right)$, numărul total de moduri normale de vibrație cu frecvențele mai mici decît o frecvență dată f_0 este dat de numărul total de paralelipipede elementare (fig. 2.16) cuprinse în volumul octantului de sferă f_0.

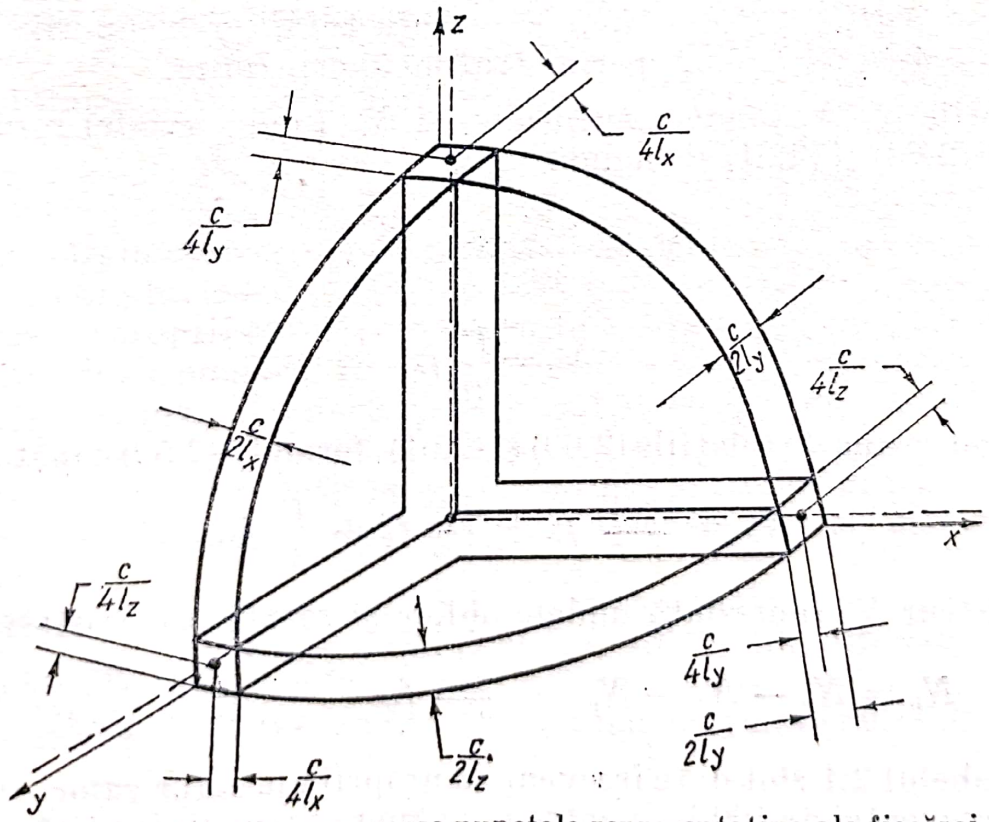


Fig. 2.16. Liniile care unesc punctele reprezentative ale fiecărei frecvențe din mijlocul paralelipipedelor elementare.

O relație care dă cu oarecare aproximație numărul frecvențelor proprii N' inferioare frecvenței f_0 este:

$$N' = \frac{\frac{1}{8}\frac{4\pi f_0^3}{3}}{\frac{c^3}{8 l_x l_y l_z}} = \frac{4\pi V f_0^3}{3c^3}. \tag{2.58}$$

Numărul exact N_e de frecvențe proprii inferioare unei frecvențe date f_0 se poate calcula cu relația:

$$N_e = N' + \frac{1}{2} N_t + \frac{3}{4} N_a \tag{2.59}$$

în care:

N' este numărul aproximativ de frecvențe proprii inferioare frecvenței f_0;
c — viteza sunetului în aer, în m/s;
V — volumul încăperii, în m³;
S — $2\,(l_x l_y + l_y l_z + l_z l_x)$, suprafața totală a încăperii, în m²;
U — $4\,(l_x + l_y + l_z)$, perimetrul încăperii, în m.

Valorile lui N_t (unde tangențiale) și N_a (unde axiale) rezultă din relațiile (2.60) și (2.61) și anume:

$$N_t = \frac{\pi f_0^2}{2c^2} S - \frac{U}{2c} f_0 \tag{2.60}$$

$$N_a = \frac{U}{2c} f_0. \tag{2.61}$$

Ținînd seama de relațiile (2.60) și (2.61), formula (2.59) capătă forma:

$$N_e = \frac{4\pi V}{3c^3} f_0^3 + \frac{\pi S}{4c^2} f_0^2 + \frac{U}{8c} f_0. \tag{2.62}$$

Numărul N_0 reprezintă undele oblice și rezultă din relația

$$N_0 = N_e - N_t - N_a = \frac{4\pi V}{3c^3} f_0^3 - \frac{\pi S}{4c^2} f_0^2 + \frac{U}{8c} f_0. \tag{2.63}$$

În tabelul 2.1 sînt date frecvențele proprii ale căror valori sînt inferioare frecvenței de 100 Hz pentru o încăpere paralelipipedică avînd dimensiunile 3 m × 4 m × 6 m.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 2.1

Frecvențele proprii ale căror valori sînt inferioare frecvenței $f_0 = 100$ Hz

n_x	n_y	n_z	f Hz	n_x	n_y	n_z	f Hz
1	0	0	28,3	1	1	1	76,3
1	1	0	38,6	0	2	1	77,0
0	1	0	42,5	2	0	1	80,2
0	0	1	56,6	3	0	0	84,9
2	0	0	56,6	0	2	0	85,0
1	0	1	63,4	1	2	0	89,3
0	1	1	70,8	3	1	0	89,3
2	1	0	70,8	2	1	1	90,9

Numărul de frecvențe proprii cuprinse într-o anumită bandă de frecvențe. Există cazuri cînd este utilă determinarea numărului modurilor de vibrații dintr-o încăpere cuprinse într-o anumită bandă de frecvențe considerate într-un interval care se întinde de la f la $f + \mathrm{d}f$, atunci cînd se excită încăperea cu un sunet oarecare. Cînd $\mathrm{d}f \ll f$, se poate calcula numărul de frecvențe proprii cu ajutorul următoarei relații, obținută prin diferențierea ecuației (2.62):

$$\mathrm{d}N_e = \left(\frac{4\pi V}{c^3} f_0^2 + \frac{\pi S}{2c^2} f_0 + \frac{U}{8c}\right) \mathrm{d}f_0. \tag{2.64}$$

Dacă lărgimea benzii este comparabilă cu mărimea frecvenței cum este, de exemplu, cazul întîlnit în domeniul frecvențelor joase, numărul de frecvențe proprii existente în această bandă se calculează efectuîndu-se diferența dintre numărul total de moduri de vibrații naturale, ale căror frecvențe sînt mai mici decît f_0, respectiv decît $f_0 + \mathrm{d}f_0$, calculate cu relația (2.62).

Numărul de frecvențe proprii cuprinse într-o bandă de frecvențe de o anumită lărgime crește mult cu frecvența și cu mărimea sălii (tabelul 2.2).

Numărul de frecvențe proprii, datorite undelor axiale, tangențiale și oblice, cuprinse în intervalul f_0 și $f_0 + \mathrm{d}f_0$ se află diferențiind ecuațiile (2.59), (2.61) și (2.63).

Datele prezentate în tabelul (2.2) au fost calculate cu relațiile următoare:

$$\mathrm{d}N_a = \frac{U}{2c} \mathrm{d}f_0; \tag{2.65}$$

Tabelul 2.2

Numărul de frecvenţe proprii cuprinse în anumite benzi de frecvenţe pentru săli paralelipipedice fără absorbţie, de volume ce variază între 100 şi 32 000 m³

Volumul sălii (dimensiunile sălii)	Sală paralelipipedică fără absorbţie							
	Numărul de frecvenţe proprii inferioare frecvenţei de 200 Hz				Numărul de frecvenţe proprii cuprinse în banda de frecvenţe 1 000—1 200 Hz			
	dN_e	dN_a	dN_t	dN_o	dN'_e	dN'_a	dN'_t	dN'_o
100 m³ (6,6 m × 4,5 m × × 3,3 m)	*144*	16 (11%)	64 (45%)	64 (45%)	*7 320*	16 (0,2%)	750 (10%)	6 550 (90%)
1 000 m³ (15 m × 10 m × × 6,6 m)	*1 200*	40 (3%)	360 (30%)	800 (67%)	71 200	40 (0,05%)	3 560 (4%)	67 600 (96%)
6 000 m³ (25 m × 20 m × 12 m)	*6 660*	70 (1%)	1 200 (18%)	5 400 (81%)	*912 000*	70 <0,01%	24 000 (2,7%)	888 000 (97%)
32 000 m³ (50 m × 45 m × × 14,2 m)	*83 472*	128,5 (0,15%)	3 762 (4,5%)	79 592 (95%)	2 066 140	128 < 0,006%	38 872 (1,8%)	2 059 332 (99%)

Scanned with OKEN Scanner

$$dN_t = \left(\frac{\pi S}{c^2} f_0 - \frac{U}{2c}\right) df_0; \tag{2.66}$$

$$dN_0 = \left(\frac{4\pi V}{c^3} f_0^2 - \frac{\pi S}{2c^2} f_0 + \frac{U}{8c}\right) df_0. \tag{2.67}$$

2.4.2. *Încăpere paralelipipedică cu pereți absorbanți*

Suprafețele delimitatoare ale unei încăperi nu sînt practic niciodată total reflectante, dar nici total absorbante. La incidența undelor acustice pe aceste suprafețe, se produce o absorbție de energie acustică, iar undele staționare care se formează în spațiul delimitat de suprafețele interioare ale încăperii vor fi mai mult sau mai puțin amortizate. În acest caz este necesară efectuarea unui studiu special privind cîmpul acustic din încăperea cu pereți absorbanți.

Studiul cîmpului acustic într-o astfel de încăpere, întîlnită adesea în practică, în care undele sînt amortizate, necesită, pe de-o parte, cunoașterea constantelor de fază, (ca urmare a faptului că suprafețele delimitatoare ale încăperii nu sînt rigide și perfect reflectante), iar pe de altă parte cunoașterea constantelor de atenuare în funcție de gradul de absorbție acustică a suprafețelor delimitatoare ale încăperii.

Dacă se efectuează un calcul al amortizării undelor tangențiale și oblice pentru încăperi paralelipipedice cu pereți absorbanți, se obțin, în general, valori diferite pentru gradul de amortizare a undelor tangențiale și oblice față de cel al undelor axiale.

În cazul în care pereții încăperii au practic același coeficient de absorbție și suprafețele lor nu diferă ca întindere prea mult una de alta, gradele de amortizare δ ale undelor axiale, tangențiale și oblice sînt legate prin relația:

$$\delta_{ax} < \delta_{tang} < \delta_{obl}. \tag{2.68}$$

2.4.3. *Încăpere de o formă oarecare*

În acustica ondulatorie s-a putut dovedi că ceea ce s-a dedus pentru o încăpere paralelipipedică privind modurile de vibrație se menține și pentru încăperi de o altă formă. Într-adevăr, s-a arătat că primul termen al relației (2.63) este independent de forma încăperii, iar pentru încăperi de formă triunghiulară și cilindrică termenul al doilea are aceeași expresie.

Scanned with OKEN Scanner

În ceea ce privește ponderea termenului al treilea, ea este relativ redusă în cazul încăperilor întîlnite în practică.

Cu o suficientă aproximație se poate afirma că expresia numărului total de moduri de vibrație inferioare unei frecvențe date, pentru o încăpere de un anumit volum, este independentă de forma încăperii. Rezultă că nu este posibil să se schimbe numărul total al modurilor de vibrație prin varierea formei încăperii, ci numai prin modificarea volumului ei.

Aceste constătări se mențin pentru toate încăperile de formă regulată care derivă din cilindru san sferă, deci pentru săli în formă de emisferă, tunel, dom etc.

2.4.4. *Răspunsul unei încăperi la excitațiile acustice generate de o sursă care se află în interiorul ei*

Faptul că într-o încăpere există frecvențe proprii arată că ea constituie de fapt un sistem oscilant. Dacă se presupune că într-o încăpere există o sursă acustică (de exemplu, o coloană de difuzoare) care generează un sunet excitator pur sau complex, frecvența sunetului poate să coincidă cu una sau mai multe frecvențe proprii ale încăperii. În cazul în care există coincidență între frecvența sunetului și frecvențele proprii ale încăperii, intensitatea acustică a sunetului sursei crește datorită contribuției încăperii; dacă nu există coincidență, contribuția încăperii este neglijabilă sau devine chiar dăunătoare.

Dacă, de exemplu, încăperea are mai multe frecvențe proprii suprapuse, așa-numitele *frecvențe degenerate* (aceste frecvențe apar în special în cazul sălilor de formă cubică), atunci contribuția încăperii este numai aparentă, deoarece unele frecvențe din componența spectrului sursei acustice emițătoare din încăpere vor căpăta nivele mai mari de intensitate decît altele (fig. 2.17, *a*), fenomen care modifică în mod neplăcut sunetul inițial.

De exemplu pentru o sală cu volumul de 100 m³, avînd următoarele frecvențe proprii inferioare frecvenței de 100 Hz

27,5 — 36,5 — 45,9 — *55* (de două ori); 61,5 — *66* (de două ori) — 71,5 — 73,5; 77,5 — 78,5 — 82,5 — 86 — 90,2; *91,5* (de două ori) — 95,5 — 99 există intervale (goluri) în regim permanent între frecvențele proprii care ajung la valoarea de 9 Hz, iar frecvențele degenerate sînt 55 — 66 — 91,5 Hz.

Contribuția reală a încăperii se face simțită numai dacă distribuția frecvențelor proprii este foarte regulată și dacă frecvențele sînt foarte

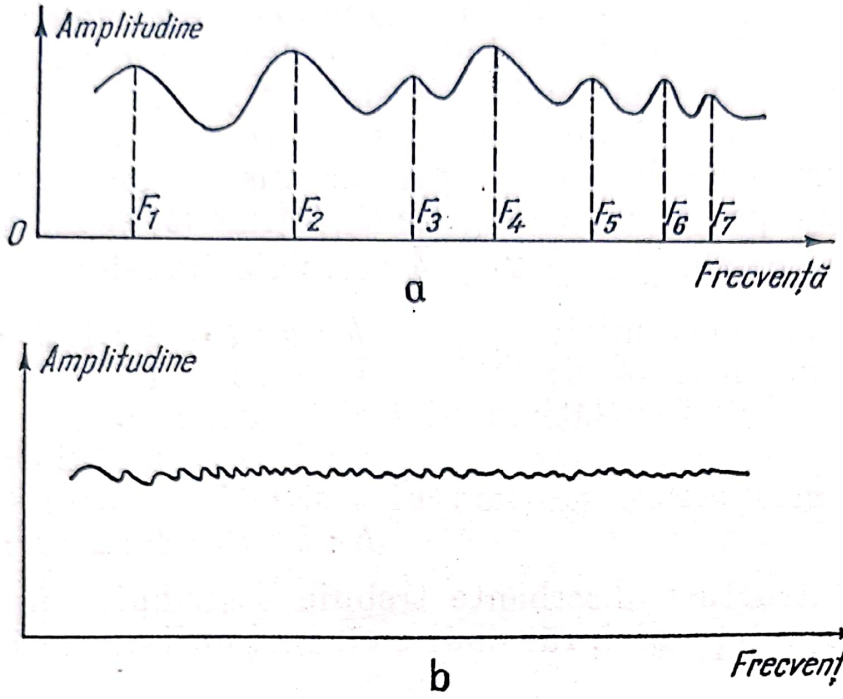


Fig. 2.17. Răspunsul unei încăperi la o excitație acustică datorită unei surse ce generează o undă acustică de frecvență F_i în regim permanent.

apropiate una de alta (caracteristica de frecvență a încăperii nu prezintă denivelări supărătoare — fig. 2.17, *b*).

Cînd frecvența excitatoare a sursei acustice nu are un corespondent exact printre frecvențele proprii ale unei încăperi, atunci încăperea oscilează pe frecvențele ei cele mai apropiate de frecvența excitatoare. Dacă aceste frecvențe apropiate de frecvența excitatoare se găsesc în interiorul intervalului în care urechea nu este capabilă să distingă înălțimea a două frecvențe vecine, atunci sunetul în încăpere apare mai bogat și mai plăcut auditiei.

Cînd intervalul dintre frecvența excitatoare și frecvența proprie cu care răspunde încăperea este perceput de către ureche, atunci senzația auditivă rezultată apare foarte neplăcută; vorbirea în încăperile de volum mic (20—60 m³) constituie un exemplu clasic în această privință. Apare cunoscutul *bubuit* al încăperii, care se explică prin faptul că în domeniul inferior al spectrului audio încăperile cu volum mic posedă frecvențe proprii îndepărtate unele de altele. Răspunsul încăperii pe aceste frecvențe acoperă sunetul excitator constituind perturbația cunoscută sub denumirea de *sunet de butoi*.

În concluzie, este de reținut faptul că răspunsul unei încăperi la excitațiile acustice depinde de distribuția frecvențelor proprii ale încă-

perii, de mijloacele de a le excita și de felul în care se adaugă frecvențele proprii la sunetul inițial. Contribuția sălii depinde în esență de dimensiunile ei, de repartiția materialului absorbant și reflectant pe pereți și plafon și de difuzitatea [1]) pe care o posedă. În acest scop se recomandă ca între dimensiunile unei încăperi să existe un anumit raport. Cele mai cunoscute rapoarte între lungime (l), lățime (b) și înălțime (h) sînt 2:3:5, raportul de aur și $1 : \sqrt[3]{2} : \sqrt[3]{4}$ etc. Valorile cele mai uzuale sînt:

— pentru încăperi mici: $h : b : l = 1 : 1{,}25 : 1{,}60$;
— pentru încăperi mari: $h : b : l = 1 : 1{,}60 : 2{,}50$;
— pentru încăperi cu lățime mică și lungime mare: $h : b : l = 1 : 1{,}25 : 3{,}2$;
— pentru încăperi cu înălțime mică și lățime mare: $h : b : l = 1 : 2{,}50 : 3{,}2$.

Diversele structuri absorbante trebuie distribuite pe pereți sub forma unor suprafețe mici, răspîndite cît mai uniform în interiorul încăperilor.

O bună difuzitate în încăperi se realizează prin mai multe mijloace. Fixarea unor panouri avînd formele cu convexitatea spre interiorul încăperii (semicilindri, emisfere, proeminențe de secțiune pătrată sau dreptunghiulară, pereți cu secțiune în formă de dinți de ferăstrău etc.), distribuite preferabil neregulat, dar fără concentrări pe un singur perete, constituie un mijloc eficace de a realiza difuzitatea necesară unei încăperi. Realizarea unui relief de acest fel pe pereții laterali sau pe plafonul unor încăperi este eficace numai dacă peretele respectiv are dimensiuni mari în raport cu lungimea de undă λ_i a sunetului incident. Cele mai mici dimensiuni ale formelor convexe difuzante trebuie să fie cuprinse între $\frac{\lambda_i}{4}$ și $\frac{\lambda_i}{2}$. De exemplu, dacă forma difuzantă este realizată prin utilizarea unui segment cilindric, se recomandă ca înălțimea segmentului să fie mai mare decît $\frac{\lambda_i}{6}$, iar coarda segmentului să fie mai mare decît $\frac{\lambda_i}{3}$. Din calculele efectuate și confirmate în practică rezultă că

[1]) Un cîmp acustic este considerat difuz, dacă în interiorul lui densitatea energiei acustice este aceeași în orice punct (cîmpul este omogen) și dacă transmisia acestei energii se face în mod egal în toate direcțiile (cîmpul este izotrop). Difuzitatea sau gradul de difuziune al unui cîmp acustic constituie un nou criteriu de apreciere a calității acustice a încăperilor. Difuzitatea se apreciază actualmente prin diverse metode utilizate pentru măsurarea omogenității și izotropiei cîmpului acustic.

Scanned with OKEN Scanner

pentru realizarea unei difuzități satisfăcătoare într-o încăpere sînt necesare aproximativ 50 de forme cilindrice convexe dispuse pe suprafețele delimitatoare ale unei încăperi.

2.5. Absorbția sunetului în încăperi

2.5.1. *Generalități*

În sensul cel mai larg, prin absorbția sunetului se înțelege captarea și reținerea energiei undelor acustice printr-o metodă oarecare care permite transformarea energiei acustice reținute, în energie calorică.

În acustica arhitecturală, absorbția sunetului are un rol deosebit de important, întrucît de ea depinde modificarea duratei de reverberație a tuturor spațiilor închise (săli, camere etc.) și posibilitatea de a suprima ecourile ce există în acestea. Reducerea nivelului de zgomot în clădirile industriale, social-culturale și de locuit, ca și atenuarea zgomotului în sistemele de ventilație, depinde, de asemenea, de absorbția existentă în fiecare caz în parte.

Mijloacele cu care se realizează absorbțiile acustice necesare sînt cunoscute sub denumirea de *absorbanți acustici*. Acești absorbanți se introduc în cîmpul acustic existent în încăperile ce necesită absorbția acustică. De obicei, în practică, fixarea absorbanților se face pe pereții și plafonul încăperii, constituind în acest mod și finisajul constructiv al încăperii respective.

2.5.2. *Coeficientul de absorbție*

Coeficientul de absorbție acustică α constituie caracteristica esențială a absorbanților și se definește ca fiind raportul dintre densitatea de energie acustică nereflectată (reținută) și densitatea de energie acustică incidentă:

$$\alpha = \frac{w_a}{w_i}, \tag{2.69}$$

unde: w_a este densitatea de energie acustică absorbită, în J/m³ sau erg/ cm³;

w_i — densitatea de energie acustică incidentă, în J/m³ sau erg/cm³.

Coeficientul de absorbție acustică se determină pentru o suprafață sau un material, la o anumită frecvență.

Coeficientul de reflexie acustică k_r al unei suprafețe sau al unui material, pentru o frecvență dată, reprezintă complementul coeficientului de absorbție acustică (v. relația 1.31).

În cazul incidenței normale a undei acustice, coeficientul de absorbție α_0 este legat de impedanța specifică a absorbantului $\underline{Z}_s$ și de impedanța specifică a mediului (în speță aerul) $\rho_0 c$ prin relația:

$$\alpha_0 = 1 - \left|\frac{\underline{Z}_s - \underline{Z}_c}{\underline{Z}_s + \underline{Z}_c}\right|^2. \tag{2.70}$$

Situația cea mai întîlnită este aceea a incidenței oblice sub un unghiu φ a undei acustice față de suprafața unui absorbant. În acest caz, impedanța absorbantului este dată tot de raportul dintre presiunea și viteza particulelor în punctul de reflexie

$$\underline{Z}_s = \frac{P_i + P_r}{\underline{V}_{in} + \underline{V}_{rn}}, \tag{2.71}$$

unde: P_i, P_r sînt presiunile incidente și reflectate în punctul de reflexie O;

$\underline{V}_{in}$, $\underline{V}_{rn}$ — componentele normale ale vitezei pe suprafața absorbantului, în punctul de reflexie[1]).

Pentru cazul absorbanților considerați, denumiți cu „reacție locală" componentele $\underline{V}_{in}$ și $\underline{V}_{rn}$ depind numai de presiunea incidentă și de unghiul de incidență.

Din fig. 2.18, se vede că dacă φ este unghiul de incidență, rezultă:

$$\underline{V}_{in} = V_i \cos\varphi = \frac{P_i}{\rho_0 c}\cos\varphi \text{ și}$$

$$\underline{V}_{rn} = V_r \cos\varphi = -\frac{P_r}{\rho_0 c}\cos\varphi, \tag{2.72}$$

de unde se deduc relațiile:

$$\underline{Z}_s = \frac{P_i + P_r}{\underline{V}_{in} + \underline{V}_{rn}} = \frac{P_i + P_r}{\frac{\cos\varphi}{\rho_0 c}(P_i - P_r)}; \quad \frac{\underline{Z}_s \cos\varphi}{\rho_0 c} = \frac{P_i + P_r}{P_i - P_r} \text{ și} \tag{2.73}$$

$$\frac{P_r}{P_i} = \frac{\underline{Z}_s \cos\varphi - \rho_0 c}{\underline{Z}_s \cos\varphi + \rho_0 c}.$$

[1]) În cazul considerat intervin numai componentele normale ale vitezei particulelor întrucît s-au admis ipotezele conform cărora unda refractată e paralelă cu planul de separație SS' iar unda normală la acest plan este absorbită în întregime.

Scanned with OKEN Scanner

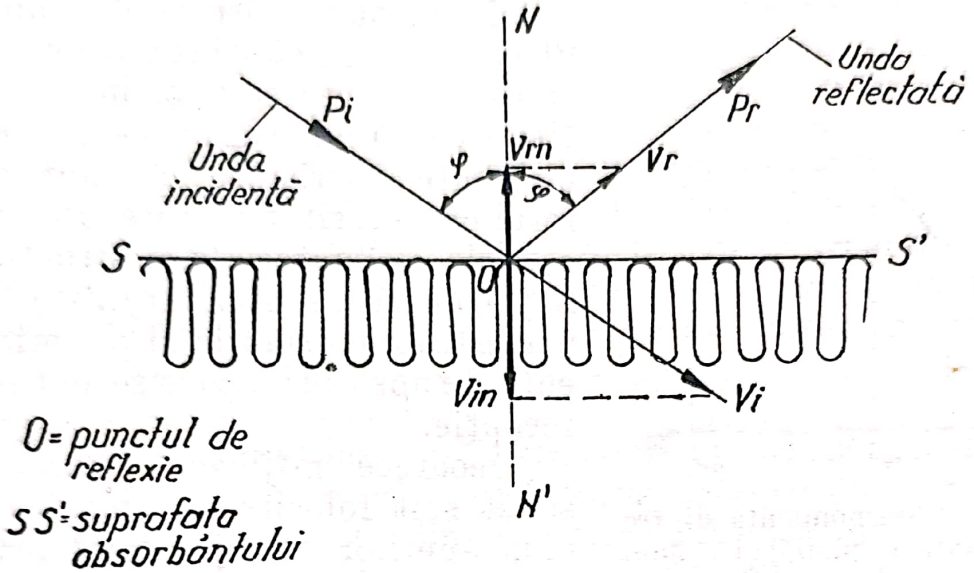


Fig. 2.18. Componentele normale ale vitezei pe suprafața unui absorbant cu reacție locală la incidența oblică a unei unde acustice.

Expresia coeficientului de absorbție dedusă ținînd seama de relațiile (2.69) și (1.31) în cazul incidenței oblice a undelor sonore pe suprafețele structurilor absorbante va fi:

$$\alpha\ (\varphi) = 1 - \frac{P_r^2}{P_i^2} = 1 - \left| \frac{\underline{Z}_s \cos\varphi - \rho_0 c}{\underline{Z}_s \cos\varphi + \rho_0 c} \right|^2 . \qquad (2.74)$$

Se deduce din relația (2.74) că valoarea coeficientului de absorbție, în cazul că sînt luate în considerare toate direcțiile de incidență ale undelor sonore este mai mare decît valoarea găsită pentru incidența normală din relația (2.70).

În practică este preferabil să se lucreze cu un coeficient de absorbție de valoare medie, $\bar{\alpha}$, tranziția de la coeficientul α_0 la cel de valoare medie rezultînd din diagrama prezentată în fig. 2.19.

Din diagrama trasată se observă că $\bar{\alpha}$ rămîne mai mare decît α_0 pînă la valoarea maximă 0,95.

2.5.3. *Absorbanți utilizați în tratamentele acustice*

Se știe că absorbția sunetului se poate realiza nu numai cu materiale omogene ca structură, ci și cu elemente, mecanisme și procedee care nu mai permit includerea lor în accepția noțiunii de *material absorbant*.

Scanned with OKEN Scanner

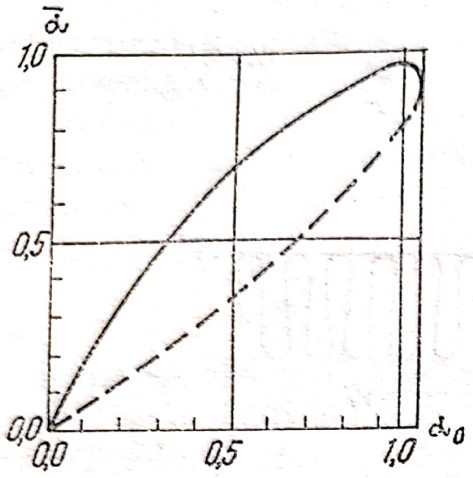


Fig. 2.19. Corespondența dintre α_0 (incidență normală) și $\bar{\alpha}$(cîmp difuz-incidență oblică).

Marea răspîndire pe care au luat-o în ultimii ani mijloacele de absorbție a avut ca rezultat crearea unor industrii specializate care realizează diverse structuri și elemente absorbante ce se pot folosi conform cu necesitățile ivite. În unele țări, o serie de materiale și structuri absorbante au și fost standardizate în ceea ce privește dimensiunile și anumiți coeficienți de absorbție, care se pot măsura la recepție.

Deoarece mijloacele absorbante de sunet sînt folosite în finisajul interior al încăperilor, al mijloacelor de transport etc., trebuie ca, în afară de proprietatea de a absorbi energia acustică, să îndeplinească anumite condiții și în ceea ce privește greutatea proprie și rezistența mecanică, modalitățile de montare, de decorare, modul de întreținere, durabilitatea, proprietățile higroscopice, caracteristicile de reflexie a luminii și comportarea la incendiu.

La fel de importante sînt și posibilitățile de procurare și costul care determină alegerea materialelor pentru soluția cea mai economică de tratament acustic preconizat.

Absorbanții cunoscuți în prezent pot fi grupați în cîteva mari categorii, după cum urmează:

— absorbanți acustici prin efect de porozitate;
— absorbanți acustici prin efect de membrană;
— absorbanți acustici bazați pe rezonatori și structuri rezonant-absorbante;
— absorbanți acustici funcționali.

În această lucrare sînt prezentate numai categoriile de absorbanți la care absorbția acustică se produce în mod pasiv prin transformarea energiei mecanice în căldură. La alte categorii de absorbanți, absorbția este obținută cu ajutorul unui circuit electronic activ, cum este, de exemplu, cazul absorbanților electronici.

În practică, materialul sau structura absorbantă au în spate un perete rigid parțial reflectant. O parte din energia acustică incidentă ce lovește materialul este reținută de acesta, o a doua parte este reflectată de peretele rigid și, în fine, o a treia parte trece prin materialul sau structura absorbantă și prin peretele rigid, pătrunzînd în încăperea adia-

Scanned with OKEN Scanner

centă. În legătură cu aceasta trebuie relevat faptul că există materiale și structuri cu coeficient de absorbție mare dar care au o transmisibilitate a sunetului importantă și de aceea, pentru realizarea unei anumite izolații fonice, sînt preferate materialele care au un coeficient de absorbție redus dar o transmisibilitate mult mai mică.

Ca mijloace absorbante de sunet pot fi considerate acele structuri și materiale ai căror coeficienți de absorbție α au valori mai mari decît 0,30. Întrucît coeficienții de absorbție α variază în funcție de frecvență, proprietățile absorbante ale unui material sînt caracterizate prin curba $\alpha = F(f)$ prezentată de obicei în literatura de specialitate, de cele mai multe ori, sub formă de diagramă.

Datele privind materialele și structurile absorbante de sunet publicate în literatură se referă la *coeficientul de absorbție mediu* care se obține din media raportului dintre energia acustică incidentă pentru toate unghiurile de incidență cuprinse între 0 și 90°.

În literatura de specialitate se indică absorbția acustică exprimată în unități de absorbție acustică (m^2UA) pe persoană sau pe obiect.

Absorbanți acustici prin efect de porozitate. Absorbanții poroși pot fi cu *schelet rigid* și cu *schelet flexibil*.

În categoriile absorbanților poroși cu schelet rigid intră acele materiale ai căror pori nu suferă deformări sub acțiunea undelor acustice. Astfel sînt tencuielile poroase, care constau dintr-o compoziție de fibre minerale și un liant, în stare semiplastică, care se aplică prin împroșcare pe suprafețele ce trebuie tratate acustic. Din aceeași categorie fac parte plăcile din vată de sticlă și din vată minerală (sillan), împîsliturile din vată de sticlă sau vată minerală cu un liant ca ureeformaldehida sau lîna din fibre pe bază de silicați de aluminiu fără lianți organici (Triton Kaowool Ceramic Fibre) sau plăcile din fibre celulozice rigidizate cu un liant inflexibil ca, de exemplu, cimentul. În anumite condiții, asemenea absorbanți, bazați pe efectul de porozitate, se pot obține și din plăci de fibre de azbest sau de lemn (acusticelotex, PFL poros etc.). Este de menționat faptul că materialele care au schelet rigid și care posedă alveole fără legătură între ele, deci fără canale care să străbată materialul de la o față la alta (porii închiși) nu pot constitui absorbanți acustici eficace și sînt contraindicați în tratamentele acustice.

La materialele absorbante cu pori deschiși, absorbția acustică are loc datorită frecării particulelor de aer între ele și de pereții porilor. Datorită acestei frecări, energia undei incidente se transformă în căldură, care se disipă în scheletul rigid al materialului și în jurul lui.

Scanned with OKEN Scanner

În categoria absorbanţilor poroşi cu schelet flexibil intră materialele din vată de sticlă, vată minerală, vată în vrac, diferite pîsle, mochete, ţesături, stofe şi alte materiale similare, al căror schelet nu a fost rigidizat cu un anumit liant. Sub acţiunea undelor acustice incidente, scheletul acestor materiale suferă deformări, datorită tocmai flexibilităţii pereţilor care înconjoară porii existenţi.

La frecvenţe joase, coeficientul de absorbţie al absorbanţilor cu schelet flexibil este mai mare decît cel al absorbanţilor cu schelet rigid. Aceasta se explică prin faptul că la frecvenţe joase impedanţa acustică a absorbantului flexibil nu mai este infinită ca a celui rigid.

La absorbanţii acustici prin efect de porozitate absorbţia acustică este mai ridicată la frecvenţele înalte decît la frecvenţele joase.

Absorbţia frecvenţelor înalte este în anumite limite independentă de grosimea materialului. La frecvenţe joase absorbţia devine mai mare o dată cu creşterea grosimii materialului (fig. 2.20, *a*). Trebuie însă să se remarce că creşterea grosimii peste anumite limite (grosimile obişnuite sînt de 10—15 cm) nu este justificată din punct de vedere economic, deoarece mărirea ce se obţine pentru coeficientul de absorbţie este neînsemnată.

Cunoscîndu-se faptul că stratul de aer care separă un strat de material poros de peretele lui de fixare are o influenţă decisivă asupra proprietăţilor absorbantului poros, s-a căutat să se îmbunătăţească caracteristica de absorbţie în domeniul frecvenţelor joase prin montarea materia-

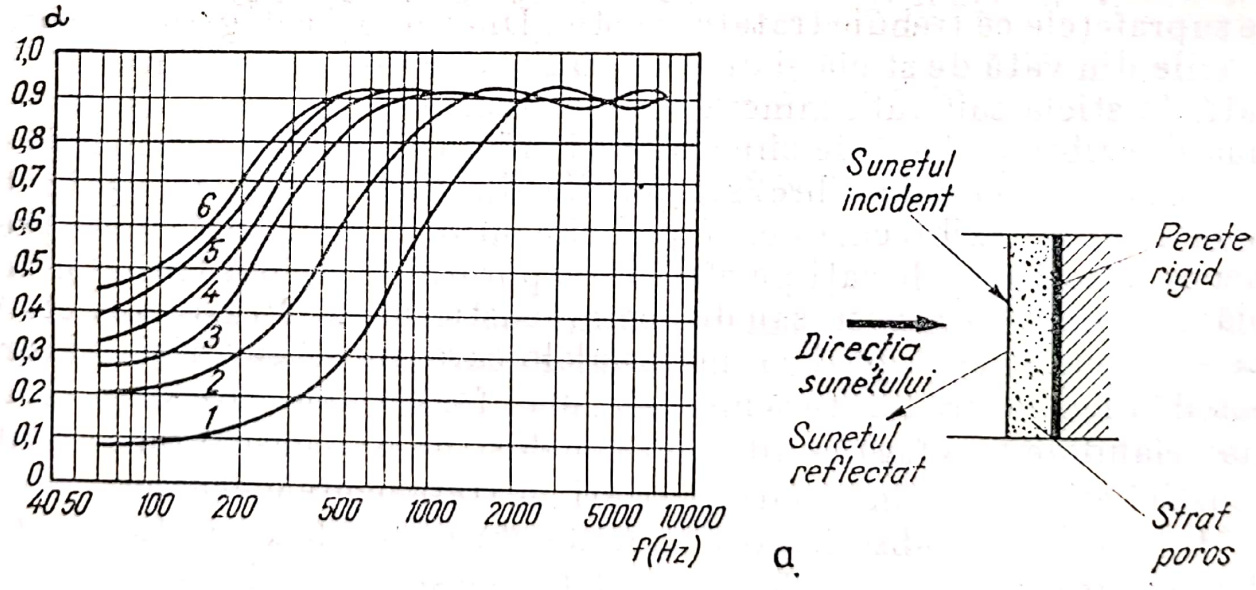
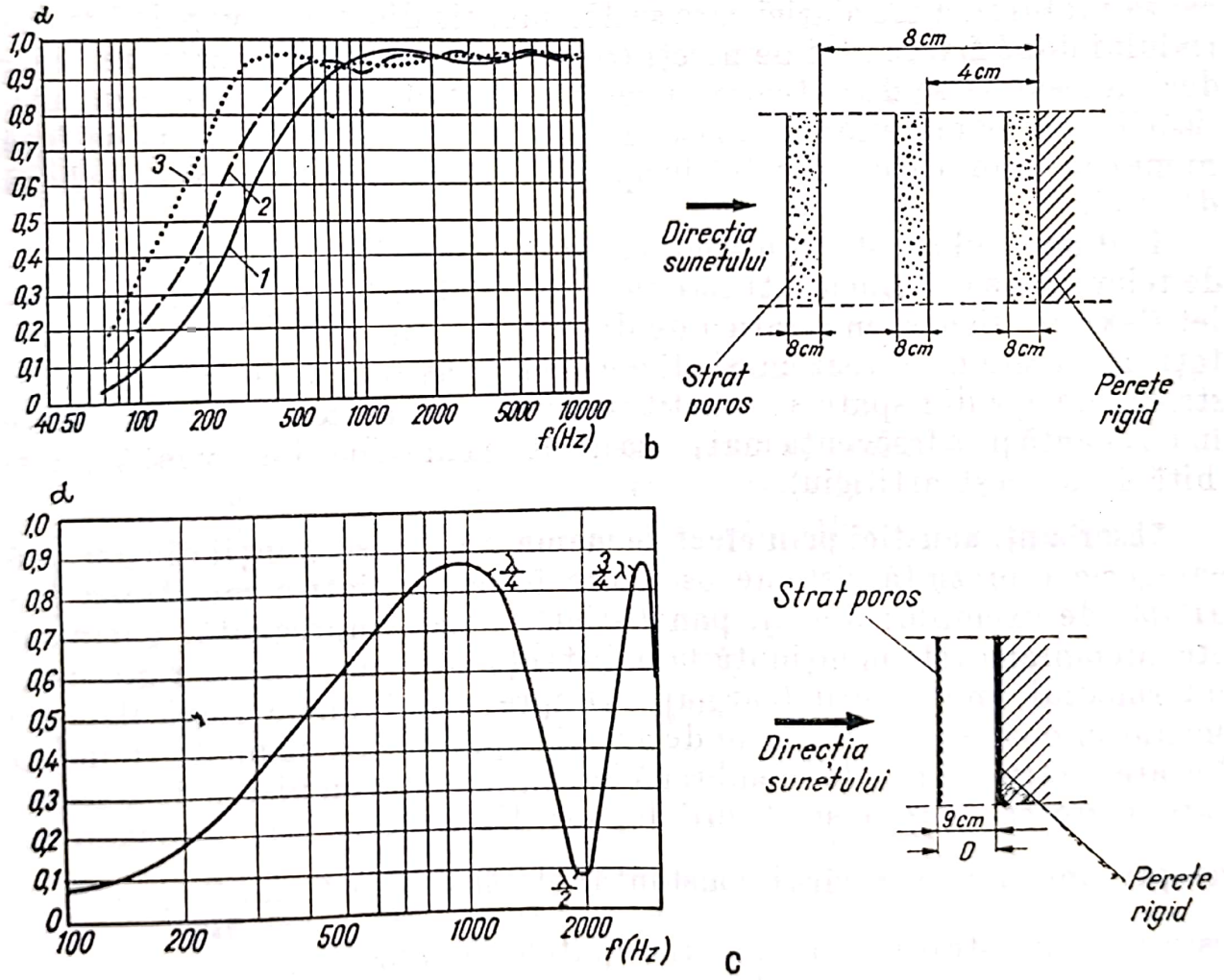


Fig. 2.20. Absorbanţi acus-

a — dependenţa coeficientului de absorbţie de grosimea stratului poros absorbant pentru pîsla mm (*5*); 152,4 mm (*6*); *b* — variaţia coeficientului de absorbţie în funcţie de distanţa faţă diferite distanţe faţă de perete: *1*—0 cm; *2*—4 cm; *3*—8 cm; *c* — variaţia coeficientului de

lului poros pe un schelet de susținere, situat la o anumită distanță de peretele rigid. Prezența stratului de aer din spatele materialului echivalează cu o sporire a grosimii stratului absorbant care este crescătoare cu grosimea stratului de aer și descrescătoare cu porozitatea materialului.

Mărirea aparentă a grosimii stratului absorbant echivalează cu îmbunătățirea absorbției în domeniul frecvențelor joase (fig. 2.20,*b*). Cînd stratul poros este numai suspendat (ca o perdea) în fața peretelui rigid, variația coeficientului de absorbție prezintă unele particularități (fig. 2. 20, *c*). Maximul absorbției are loc cînd stratul poros este suspendat într-un plan în care viteza particulelor este maximă, adică în punctele pentru care $D = \frac{\lambda}{4}; \frac{3\lambda}{4}$ etc.



tici prin efect de porozitate:
din fir de păr; grosimea stratului 25,4 mm (*1*); 50,8 mm (*2*); 76,2 mm (*3*); 101,6 mm (*4*); 127
de perete pentru o saltea de vată de sticlă cu grosimea de 8 cm și cu densitatea de 80 kg/m³ la
absorbție al unui strat poros suspendat și paralel cu peretele.

Materialele poroase se mai caracterizează și prin porozitatea de volum și porozitatea de suprafață, ambele legate de rezistența de curgere a materialului. Pentru valori ale rezistenței de curgere cuprinse între 20 g · cm^{-2} și 120 g · cm^{-2}, coeficienții de absorbție ai materialelor cu grosimi ce nu depășesc 4 cm sînt destul de mari.

Întrucît cei mai mulți absorbanți prin efect de porozitate se pot ușor deteriora prin acțiuni mecanice, ei se acoperă cu ecrane de protecție transparente din punct de vedere acustic, cum sînt: plasele din sîrmă de oțel, tablele perforate din oțel, aluminiu sau azbest, materialele textile, împletiturile din materiale plastice sau metalice etc.

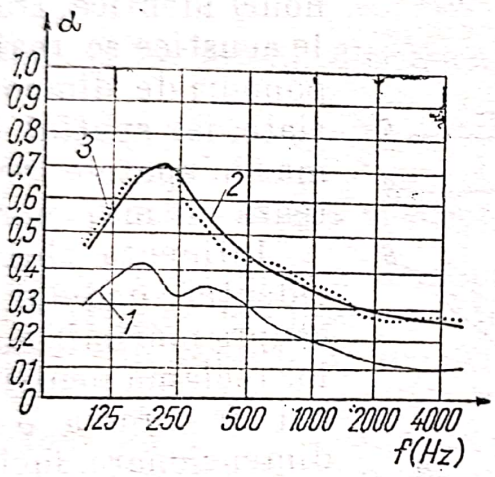
Calitățile absorbante ale materialelor poroase scad sau se pierd dacă dintr-un motiv oarecare are loc astuparea porilor la suprafața care este în contact cu unda acustică. Astuparea porilor se poate produce, fie din cauza prafului, a murdăriei care se depune, fie din cauza vopsirii materialului după fixarea lui pe pereți cu o vopsea necorespunzătoare. Este deci necesar să se dea atenția cuvenită curățirii prafului în cazul utilizării acestor materiale poroase, iar vopsirea materialului să se facă numai cu culori care se dizolvă în apă și în nici un caz cu vopsea pe bază de ulei.

Tratamentul acustic din studiourile de televiziune ale noului centru de televiziune din București este realizat cu absorbanți poroși, cu schelet flexibil, dispuși în straturi de diverse grosimi (10—15 cm), distanțați de peretele de reazem și dimensionați astfel, încît împreună cu stratul de aer din spate să constituie un sistem mecanic (care să intre în rezonanță pe o frecvență mai joasă decît cea mai joasă frecvență absorbită fără acest artificiu).

Absorbanți acustici prin efect de membrană. Absorbanții din această categorie reprezintă sisteme oscilante formate dintr-o *membrană flexibilă*, de exemplu: placaj, panel,sticlă, pînză impregnată, gutiplast etc. Membrana este menținută la o distanță d de un perete rigid prin intermediul unui cadru (caroiaj). Despre membranele flexibile care închid în mod etanș un spațiu de aer din spatele lor, se poate spune că fiecare metru pătrat de membrană se comportă ca un piston de masă m, care lucrează asupra stratului de aer din spatele lui, întocmai ca asupra unui resort a cărui constantă elastică este $C = \frac{V}{\rho_0 c^2}$, unde V este volumul stratului de aer din spatele membranei.

Din cauza energiei undelor acustice incidente, care lovesc membrana, acest sistem oscilant (compus din membrană și stratul de aer din spate) execută vibrații forțate, iar absorbția energiei acustice se pro-

Scanned with OKEN Scanner



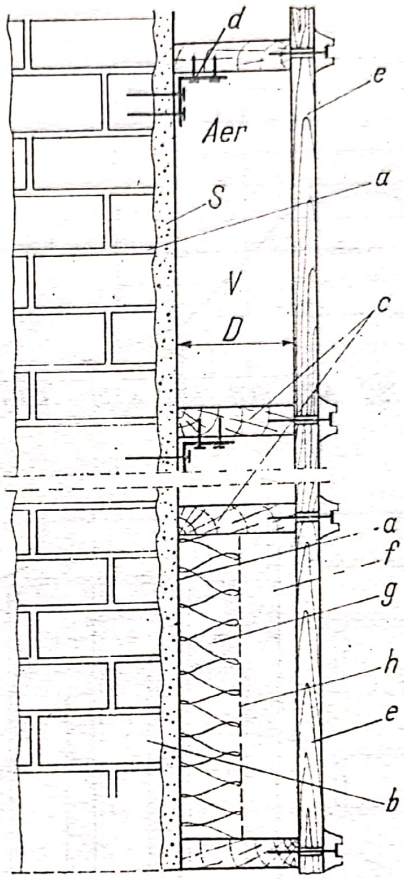


Fig. 2.21. Variația coeficientului de absorbție acustică la absorbanți prin efect de membrană (placaj):

a — tencuială; *b* — zid; *c* — cusaci de fixare a membranei; *d* — platbandă; *e* — membrană; *f* — strat de aer; *g* — strat din material poros; *h* — plasă de rabiț galvanizată; *1* — în spatele plăcii de placaj este un spațiu gol; *2* — volum de aer umplut cu o saltea de vată minerală; *3* — volum de aer cu amortizare la periferia plăcii.

duce ca urmare a frecărilor care apar în interiorul membranei și în special la punctele de reazem. Adeseori, pentru a mări absorbția, în stratul de aer din spatele membranei se așază un material poros cu schelet flexibil, ca: vată de sticlă, vată minerală etc. (fig. 2. 21).

Calculul frecvenței de rezonanță f_0 a sistemului oscilant se efectuează cu relația

$$f_0 = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{\rho_0}{m\,D}}, \qquad (2.75)$$

în care: c este viteza sunetului în aer (340 m/s);

ρ_0 — densitatea aerului (1,205 kg/m³);

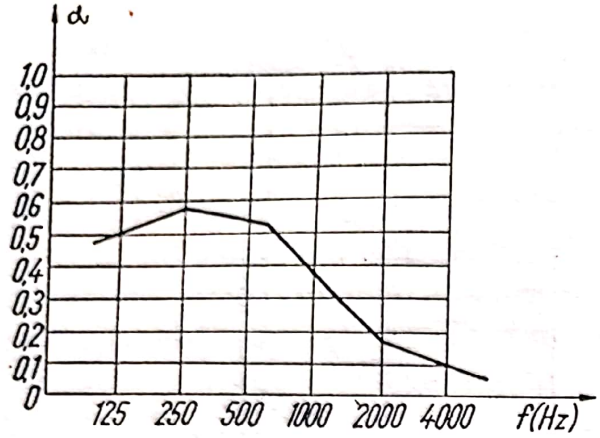
m — masa unității de suprafață a membranei, în kg/m²;

D — distanța dintre membrană și peretele rigid, în m.

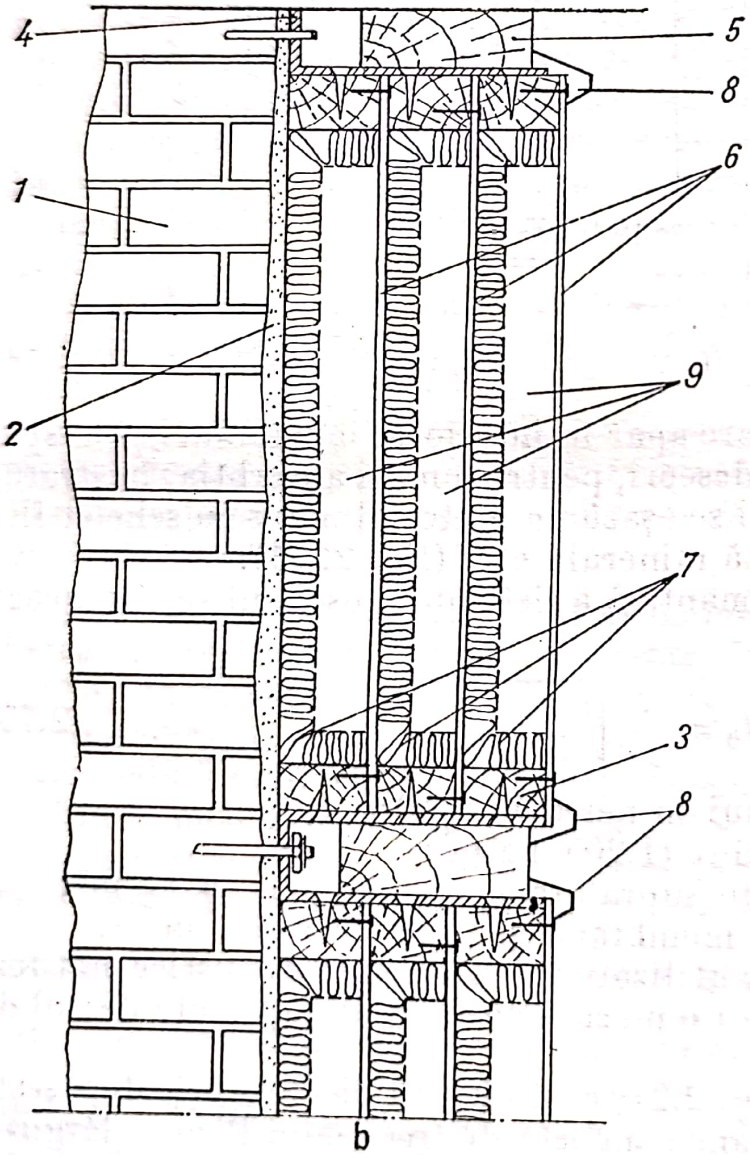
Majoritatea membranelor utilizate în tratamentele acustice sînt formate din placaj de lemn și au o masă a unității de suprafață destul de mare.

După cum se vede din fig. 2.21, coeficientul de absorbție depășește valoarea 0,5 numai într-o bandă îngustă de frecvențe. Pentru lărgirea

Scanned with OKEN Scanner



a



b

benzii de frecvențe în care absorbantul este eficace, se suprapun mai multe membrane (fig. 2.22), dar această soluție prezintă dezavantaje economice.

În scopul evitării unei absorbții selective a sunetelor de frecvență joasă, datorită folosirii unor panouri identice, tratamentele acustice se realizează cu panouri de dimensiuni variate, iar spațiul de aer rămas în spatele lor se casetează cît mai neregulat.

Influența oblicității incidenței undelor acustice asupra mărimii membranelor reclamă pentru utilizarea lor corectă o astfel de dimensionare, încît dimensiunea lor cea mai mare ψ să rămînă mai mică decît sfertul celei mai mici lungimi de undă λ corespunzătoare frecvenței maxime f_m a sunetului care trebuie absorbit.

Fig. 2.22. Mărirea benzii de absorbție a absorbanților prin efect de membrană:

a — variația coeficientului de absorbție în funcție de frecvență; *b* — suprapunerea a trei membrane realizată constructiv; *1* — zid; *2* — tencuială; *3* — cusaci de fixare a membranelor; *4* — platbandă; *5* — piesă de lemn masivă; *6* — membrane suprapuse (placaj, carton, foi de polietilenă, gutiplast etc.); *7* — material poros; *8* — baghete; *9* — spațiu de aer.

Scanned with OKEN Scanner

Deci:

$$\psi \leqslant \frac{\lambda_m}{4} . \qquad (2.76)$$

Exemplu de calcul. Să se determine dimensiunea maximă a unei membrane, știind că ea este destinată să absoarbă frecvențele inferioare frecvenței $f_m = 200$ Hz.

Lungimea de undă corespunzătoare frecvenței de 200 Hz este:

$$\lambda_m = \frac{34\,000}{200} = 170 \text{ cm}$$

Din relația (2.76) rezultă dimensiunea maximă

$$\psi \leqslant \frac{\lambda_m}{4} = \frac{170}{4} = 42, \text{ cm.}$$

Practic se adoptă pentru ψ valoarea de 50 cm.

În practica tratamentelor acustice, membranele au în general, rolul de a absorbi frecvențele inferioare frecvenței $f_m = 200$ Hz și de aceea dimensiunile ψ de ordinul 50—60 cm sînt cele mai uzuale.

Panourile de tratament acustic, realizate cu absorbanți acustici prin efect de membrană, pot avea diferite forme, cerute de destinația încăperilor. De exemplu, în cazul studiourilor pentru înregistrări muzicale, unde este necesar să se realizeze o anumită difuzitate a cîmpului acustic panourile au forme convexe, poliedrice etc. (fig. 2.23).

După cum se poate vedea în fig. 2.24, frontul de undă rezultat prin reflexie este mult mai mare în cazul unui panou convex (*a*) decît în cazul în care reflexia s-ar produce pe o suprafață plană (*b*) de aceleași dimensiuni cu cea convexă, considerînd că lungimea de undă este mult mai mică decît dimensiunile suprafeței reflectante.

Prin adoptarea suprafețelor reflectante convexe se reduc foarte multe din efectele de interferență dintre undele directe și cele reflectate din încăperi. Utilizarea suprafețelor reflectante convexe (policilindri) contribuie mult la micșorarea gradului de neuniformitate al curbei de descreștere a energiei acustice în încăperi. Suprafețele convexe se pot realiza din placaj curbat la cald sau din mai multe foi de furnir încleiate și presate oferind o absorbție destul de importantă la frecvențele joase datorită efectului de membrană. Aceleași suprafețe se pot executa din zidărie, marmură, ipsos sau beton tencuit, în cazul în care nu este nevoie de absorbție ci se urmărește numai obținerea efectului difuzant al sunetului.

Scanned with OKEN Scanner

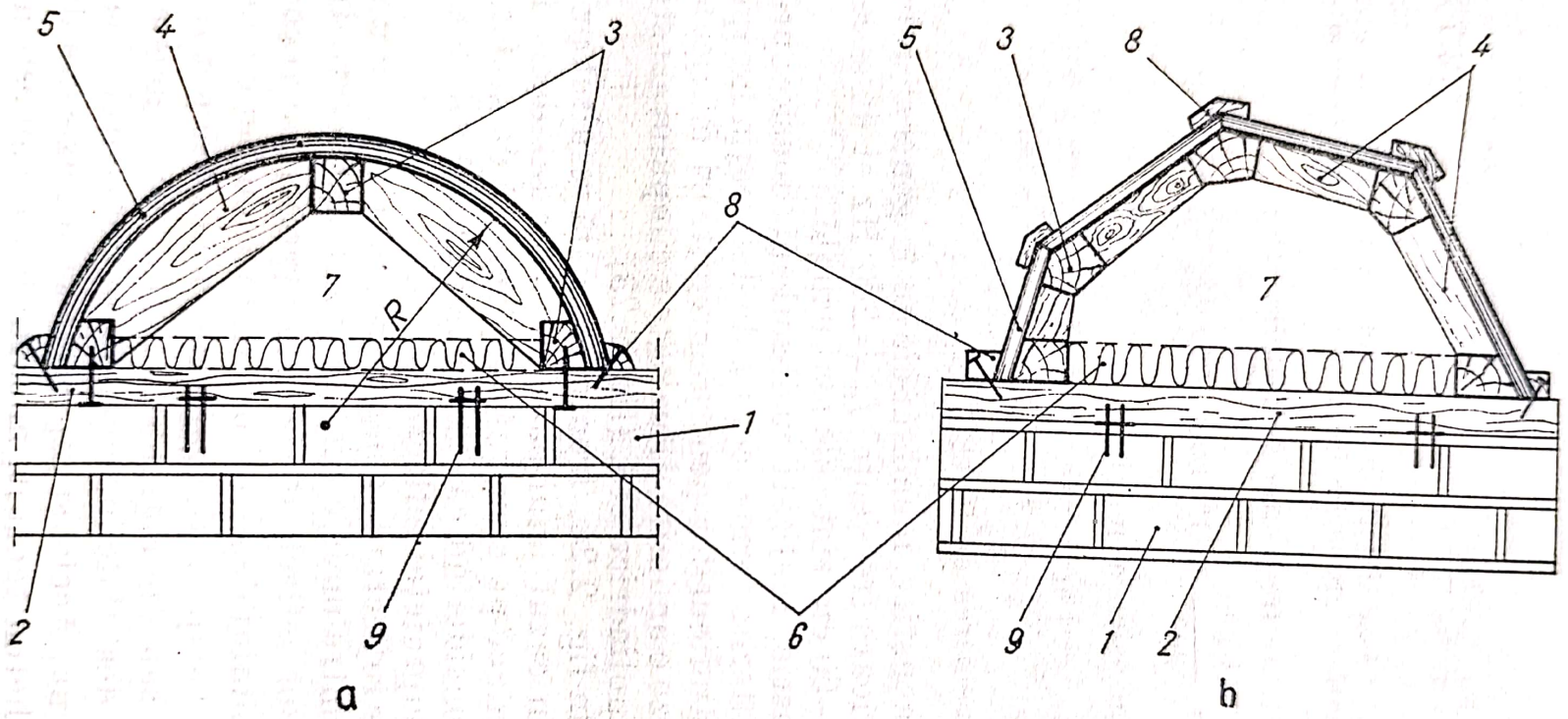


Fig. 2.23. Detalii constructive pentru suprafața care realizează difuziunea cîmpului acustic:

a — suprafețe policilindrice: *1* — zid; *2* — caroiaj de rezistență; *3* — cusaci de fixare a coastelor; *4* — coaste de distanțare fixate la diverse distanțe cuprinse între 40 cm și 1,10 m; *5* — placaj curbat sau mai multe straturi de furnir lipite; *6* — saltea de vată minerală avînd grosimea între 5 și 10 cm; *7* — spațiu de aer; *8* — baghetă; *9* — platbandă; *b* — suprafețe poliedrice: *1* — zid; *2* — caroiaj de rezistență; *3* — cusaci de fixare a scheletului lemnos; *4* — schelet de lemn ignifugat; *5* — plăci de placaj; *6* — saltea de vată minerală avînd grosimea între 5 și 10 cm; *7* — spațiu de aer; *8* — baghe;e *9* — platbandă.

Scanned with OKEN Scanner

În legătură cu dimensionarea suprafețelor policilindrice se pot utiliza cu rezultate satisfăcătoare datele din tabelul 2.3 și fig. 2.25.

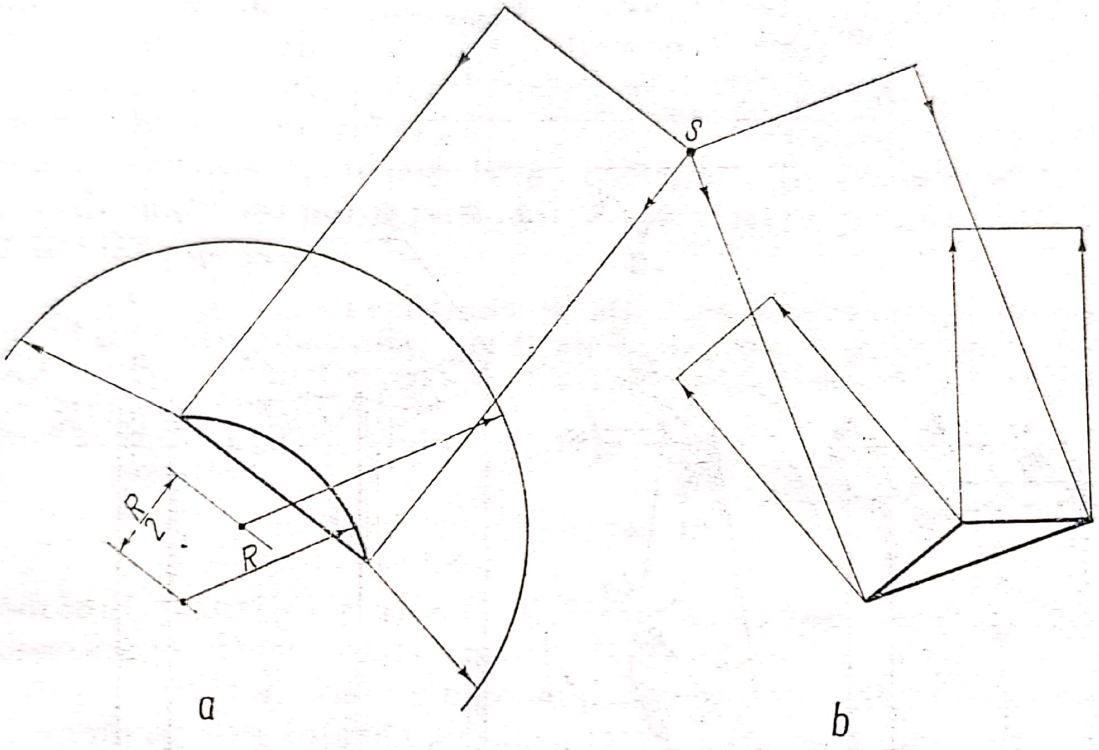


Fig. 2.24. Lungimea frontului de undă reflectată de diverse panouri.

Tabelul 2.3

Date pentru dimensionarea policilindrilor pentru tratamente acustice

Nr. crt.	*S* cm	*R* cm	*L* cm	*H* cm
1	61	51,3	52	8,1
2	91,5	59	79	16,5
3	122	66,7	103	25,4
4	152	74	125	35
5	183	82	146	45,5
6	213	89,5	156	55,8
7	244	97	184	66,5
8	275	104,5	202	77
9	305	112	218	87

Scanned with OKEN Scanner

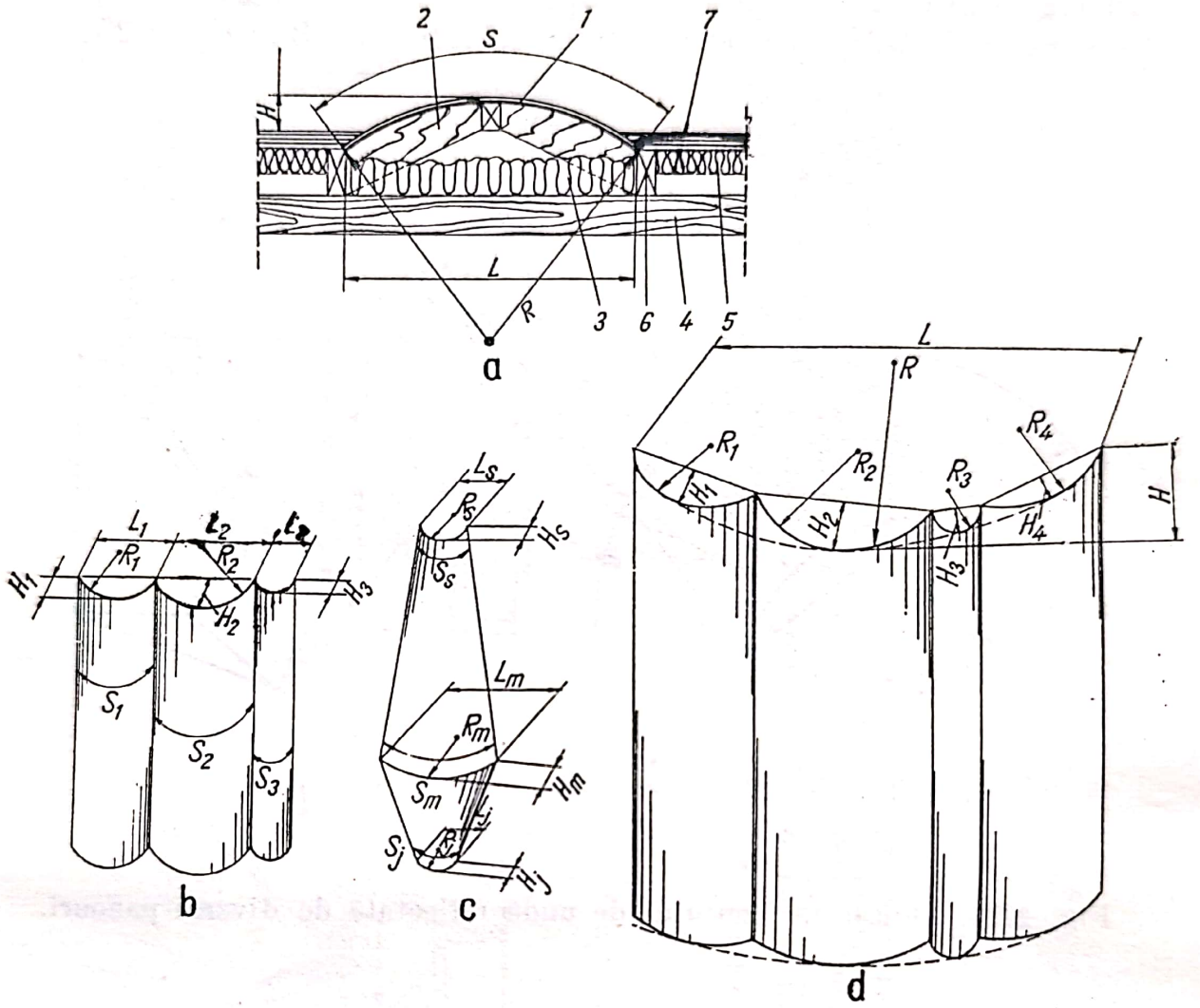


Fig. 2.25. Elementele de calcul pentru dimensionarea policilindrilor:
a — secțiune prin policilindru; *b* — grup de policilindri cu diferite lungimi de arc în plan orizontal; *c*—policilindru compus din două părți care au înălțimea segmentului de cerc variabilă; *d* — grup de policilindri mici. *R* — raza; *S*—lungimea arcului; *L* — lungimea coardei; *H* — înălțimea segmentului de cerc; *1* — placaj curbat; *2* — coaste din lemn; *3* — saltea de vată; *4* — caroiaj de rezistență; *5* — tratament acustic; *6* — cusaci susținere tratament; *7* — baghete.

Pentru calculele uzuale, frecvența de rezonanță a sistemului oscilant, adică frecvența la care coeficientul de absorbție acustică este maxim, se determină, cu un suficient grad de precizie cu relația

$$f_0 = \frac{600}{\sqrt{mD}}, \qquad (2.77)$$

în care: f_0 este frecvența de rezonanță a sistemului, în Hz;
m — masa pe unitatea de suprafață a membranei, în kg/m²;
D — distanța dintre membrană și perete, în cm.

Scanned with OKEN Scanner

Formula (2.77) se utilizează în special pentru cazurile în care se lucrează cu membrane de grosimi mici (3 — 5 mm), care au dimensiuni minime de 50 cm × 50 cm, iar distanța membranelor față de perete este de ordinul 5 — 8 cm. Această formulă este aproximativă, întrucît poziția maximului de absorbție în banda frecvențelor joase (30 Hz — 250 Hz) este influențat, printre altele, și de modul în care este fixată membrana vibrantă pe scheletul-suport, de elasticitatea materialului membranei vibratoare, de casetarea efectuată în spatele membranei, de stratul de material poros pus pentru amortizare în spațiul de aer din spatele membranei etc.

Exemplu de calcul. Să se afle care este frecvența de rezonanță pentru un absorbant format din plăci flexibile de placaj, cu grosimea de 4 mm, avînd o greutate de 4 kg/m² și care se află la distanța de aproximativ 7 cm de un perete de cărămidă tencuit.

Aplicînd relația (2.77), rezultă frecvența

$$f_0 = \frac{600}{\sqrt{4 \times 7}} = 115 \text{ Hz}.$$

Absorbanți acustici realizați din rezonatori sau din structuri rezonant-absorbante. Deși acești absorbanți se cunosc încă de acum cîteva secole, după cum o dovedesc construcțiile grecești și romane din antichitate, ei nu au fost folosiți pe scară largă decît în ultimii ani, după ce dezvoltarea tehnologiei materialelor absorbante de sunet a făcut progrese mari.

Rezonatorii, și în general toate structurile rezonant-absorbante, avînd la bază efectul de rezonanță, prezintă un mare avantaj față de ceilalți absorbanți, în sensul că ei pot fi realizați din materiale ușor procurabile, cum sînt: betonul, ipsosul, asfaltul, argilele, sticla, oțelul, plăcile PFL, polistirenul expandat, azbestul etc. și pot înlocui în multe cazuri celelalte mijloace de absorbție care necesită materiale speciale deficitare și costisitoare. În afară de acest avantaj, structurile rezonant-absorbante confecționate ca produs industrial standardizat (sub formă de plăci perforate) pot fi adaptate oricărei decorații arhitecturale de interior, prezentînd și avantajul ușurinței mari la montaj după procedeele rapide elaborate de firmele producătoare. În același timp, datorită faptului că aceste plăci perforate pot fi acoperite pe partea rămasă neperforată și pe marginea perforațiilor cu orice peliculă[1]) rezistentă la umiditate, la variații de temperatură etc., ele oferă avantaju.

[1]) De exemplu, cu rășini pe bază de siliconi care păstrează culoarea, nu se degradează și oferă o rezistență excepțională împotriva umidității, oxidării, razelor solare, vaporilor produselor chimice etc.

Scanned with OKEN Scanner

că pot fi uşor întreţinute în condiţii igienice perfecte şi pot asigura decoraţia oricărei încăperi mergînd de la simplul atelier pînă la cea mai luxoasă sală de spectacole.

Rezonatori individuali. Dacă se urmăreşte obţinerea unei absorbţii selective, adică a unui coeficient de absorbţie de valoare foarte ridicată într-o bandă de frecvenţe îngustă, se utilizează rezonatori individuali.

Un rezonator acustic individual constă dintr-o cavitate de aer de volum V, care se pune în legătură cu aerul exterior printr-un canal de lungime l şi de secţiune S. Canalul de comunicaţie cu exteriorul este cunoscut sub denumirea de gîtul rezonatorului.

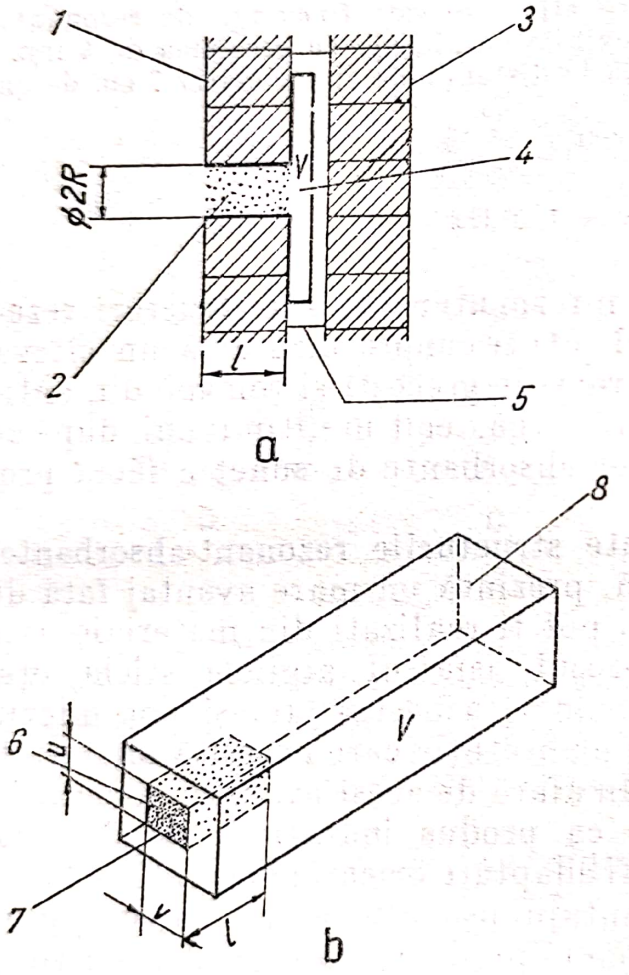


Fig. 2.26. Rezonator de tip Helmholtz individual:

a — rezonator montat în perete; *b* — rezonator prefabricat; *1* — peretele interior al încăperii; *2* — material poros; *3* — peretele exterior al încăperii; *4* — rezonator de volum V; *5* —spaţiu rămas între pereţi; *6* — orificiul rezonatorului; *7* — material poros; *8* — pereţi care pot fi metalici, din ipsos, lemn etc.

Rezonatorul cunoscut sub denumirea de rezonator Helmholtz constituie un sistem acustic oscilant, care la frecvenţa proprie de rezonanţă prezintă o absorbţie acustică foarte ridicată. Spre deosebire de absorbanţii acustici prin efectul de membrană, la rezonatorii Helmholtz, sub acţiunea unei unde acustice incidente, masa de aer din gîtul rezonatorului intră şi ea în oscilaţie. Masa de aer din gîtul rezonatorului este considerată conform teoriei ca un piston fictiv care oscilează în gîtul rezonatorului.

Datorită elasticităţii aerului conţinut în cavitatea de volum V (fig. 2.26) apar forţe de reacţie, care se opun mişcărilor oscilante efectuate de pistonul din gîtul rezonatorului.

Frecvenţa de rezonanţă f_0, în Hz, a rezonatorului individual se calculează cu relaţia:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{S}{V\,l_{ef}}}, \qquad (2.78)$$

în care: c este viteza de propagare a sunetului în aer, în m/s;
$S = \pi R^2$ — secțiunea gîtului rezonatorului de diametru $2R$, în m;
V — volumul cavității de aer a rezonatorului, în m^3;
$l_{ef} = l + kd$ — lungimea corectă a gîtului rezonatorului $(0{,}8 < k < 2{,}5)$.
l — lungimea gîtului rezonatorului;
d — diametrul secțiunii gîtului rezonatorului.

În general, un rezonator individual cu o cavitate rezonantă goală în interior (rezonator neamortizat) prezintă o curbă de variație a coeficientului de absorbție α în funcție de frecvență după cum este arătat în fig. 2.27.

Cu ajutorul unor materiale poroase (vată de sticlă, vată minerală, diverse stofe, pînze, împîsliturі etc.), introduse în gîtul rezonatorilor, este posibilă lărgirea benzii de frecvențe în care rezonatorul prezintă o absorbție mărită. În acest caz se spune că rezonatorul a fost amortizat.

În cazul în care se realizează rezistența optimă de amortizare, rezonatorul prezintă o absorbție la rezonanță A_0, dată de relația:

$$A_0 = \frac{\lambda_0^2}{2\pi}, \tag{2.79}$$

iar banda de frecvențe Δf, în interiorul căreia această absorbție nu scade la o valoare mai mică de 50% din cea corespunzătoare rezonanței, este:

$$\Delta f = 8\pi^2 \frac{V}{\lambda_0^3} f_0, \tag{2.80}$$

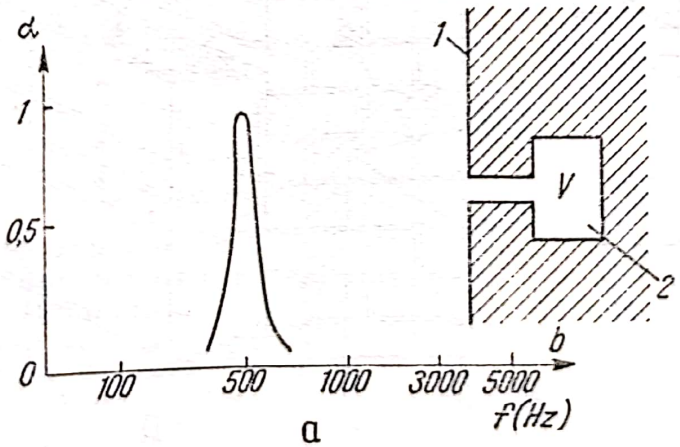


Fig. 2.27. Rezonator de tip Helmholtz neamortizat:

a — variația coeficientului de absorbție α în funcție de frecvență; *b* — rezonator montat într-un perete infinit; *1* — perete infinit; *2* — cavitate în interior.

unde: A_0 este absorbția la rezonanță, în m^2UA;
λ_0 — lungimea de undă la rezonanță, în m;
Δf — banda de frecvențe $f_1 < \Delta f < f_2$ în interiorul căreia absorbția rezonatorului $A \geqslant 0{,}5\ A_0$, în Hz;
V — volumul cavității rezonante, în m^3;
f_0 — frecvența de rezonanță, în Hz.

Rezonatorii individuali descriși mai înainte nu pot fi folosiți în aplicațiile practice decît pentru corectarea caracteristicii de frecvență, a duratei de reverberație a unor săli în anumite benzi sau pentru absorbția unor benzi înguste de zgomote nocive.

În fig. 2. 28 este arătat modul în care pot fi fixați pe pereții încăperilor rezonatorii individuali de tip Helmholtz.

Rezonatori adiacenți. Soluțiile de tratare acustică cu absorbanți constînd dintr-un singur rezonator sînt neeconomice și greu de realizat în practică. În plus, rezonatorii individuali sînt selectivi. Pentru obținerea unor absorbții acustice într-o gamă mai largă de frecvențe și a

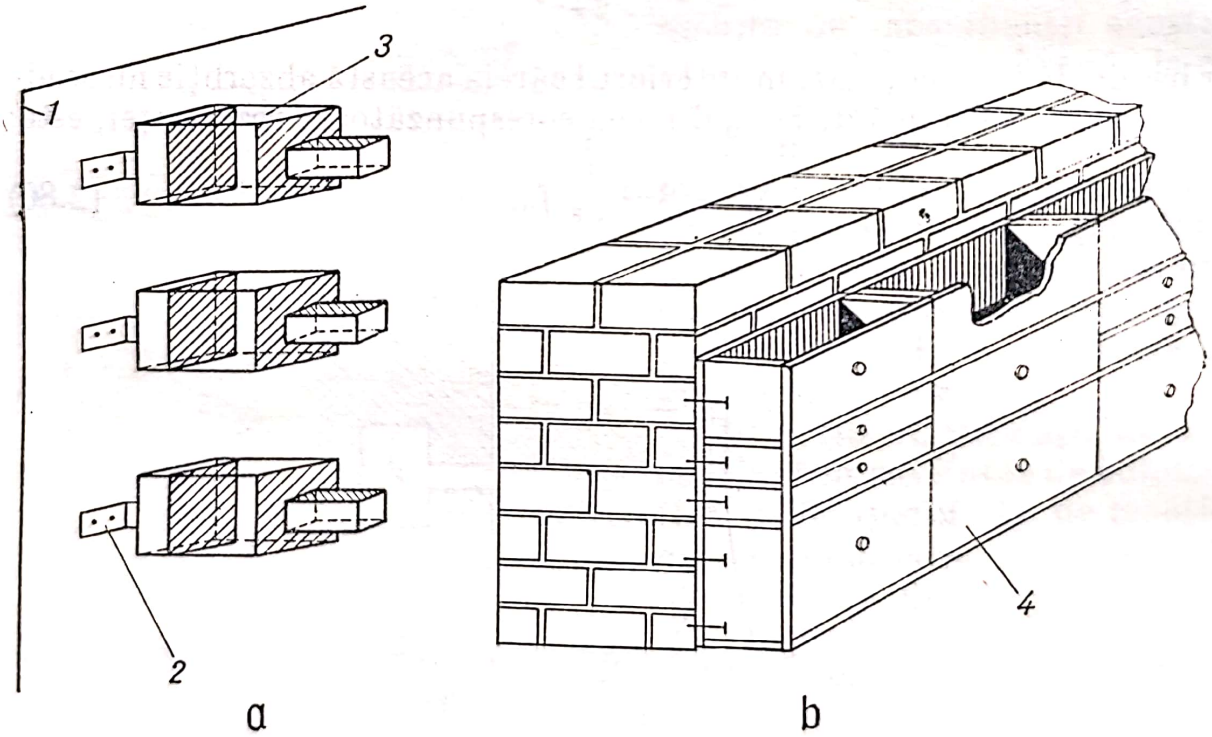
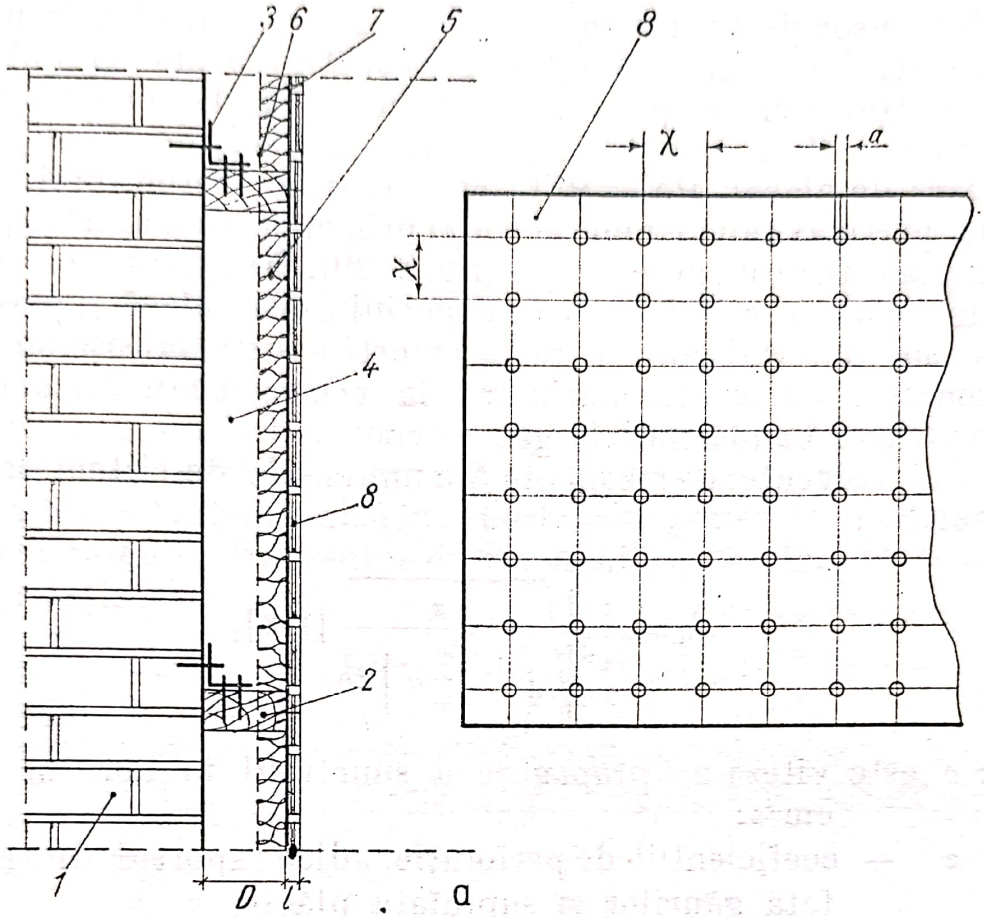


Fig. 2.28. Exemple de montare a unor rezonatori individuali de tip Helmholtz pe pereții unor încăperi:
a — casete de lemn fixate pe pereți; *b* — casete de ipsos, beton, sticlă, azbociment, ceramică etc. fixate pe pereți cu caroiaje metalice; *1* — zid; *2* — dibluri; *3* — casete individuale distanțate; *4* — casete individuale alăturate.



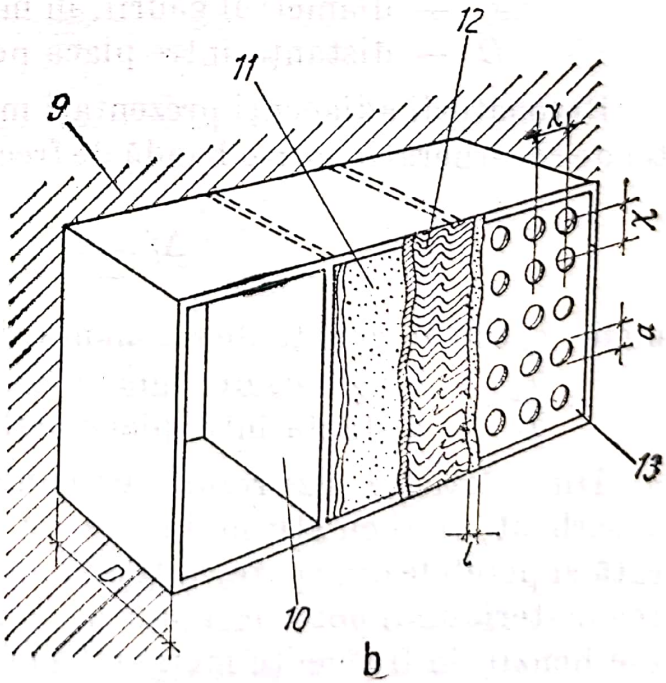


Fig. 2.29. Structură rezonant-absorbantă formată din rezonatori adiacenţi de tip Helmholtz:

a — rezonatori adiacenţi realizaţi din plăci perforate distanţate de pereţi; *b* — rezonatori adiacenţi realizaţi din casete prefabricate; *1* — zid; *2* — cusaci de fixare a caroiajului pe perete; *3* — platbandă; *4* — strat de aer; *5* — strat poros; *6* — plasă metalică; *7* — pînză; *8* — placă perforată; *9* — perete; *10* — casetă în spatele plăcilor perforate; *11* — vată minerală; *12* — împîslitură din fibre de sticlă; *13* — placă perforată.

Scanned with OKEN Scanner

unor soluții ușor de tradus în practică, este recomandabilă utilizarea unor rezonatori adiacenți. Aceștia sînt constituiți din rezonatori individuali, alăturați și neseparați, avînd un volum de aer comun. Astfel de structuri se obțin prin perforarea unor orificii, de obicei, rotunde, într-o placă de placaj, PAL, PFL, azbest, ipsos, beton, oțel, tablă de aluminiu, pertinax sau alte materiale și prin montarea acestor plăci la o distanță anumită de un perete rigid (fig. 2. 29). Structura aceasta rămîne totuși un absorbant selectiv dacă în spațiul dintre placă și perete nu se introduce un material poros care va amortiza sistemul oscilant format din rezonatori adiacenți, mărindu-i în același timp eficacitatea de absorbție într-o bandă mai largă.

Calculul frecvenței de rezonanță f_0 a unui astfel de sistem se efectuează cu relația:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{\varepsilon}{\left(l+\frac{\pi}{4}a\right)D}}\ [\mathrm{Hz}], \tag{2.81}$$

în care: c este viteza de propagare a sunetului în aer, în m/s sau cm/s;

ε — coeficientul de perforație, adică raportul dintre suprafața găurilor și suprafața plăcii;

l — grosimea plăcii perforate, în m sau cm;

a — diametrul găurii, în m sau cm;

D — distanța între placa perforată și perete, în m sau cm.

Rezonatorii adiacenți prezentați mai înainte permit controlul duratei de reverberație într-o bandă de frecvențe Δf

$$\Delta f = 4\pi\frac{f_0}{\lambda_0}D, \tag{2.82}$$

unde: f_0 este frecvența de rezonanță, în Hz;

λ_0 — lungimea de undă la rezonanță, în m sau cm;

D — distanța între placa perforată și perete, în m sau cm.

Din relația (2. 82) rezultă că banda de frecvențe Δf, controlată de absorbant, va fi cu atît mai mare, cu cît distanța D dintre placa perforată și peretele din spate va fi mai mare. În funcție de D și de densitatea materialului poros introdus în cavitatea rezonantă, se obțin lărgimi ale benzii de frecvențe mergînd pînă la patru octave.

Scanned with OKEN Scanner

Proprietățile absorbante ale stratului poros așezat în spatele plăcilor perforate se mențin pînă la frecvența maximă f_{max} dată în relația:

$$f_{max} < \frac{7\,000}{\frac{\chi}{r}}, \qquad (2.83)$$

în care:

χ este distanța dintre axele a două găuri circulare adiacente, în cm;

r — raza unei găuri, în cm.

Perforația plăcilor la rezonatorii adiacenți se poate realiza nu numai sub formă de orificii rotunde, ci și sub forma unor șanțuri scurte (fante scurte), avînd o lungime mică în raport cu lungimea de undă λ (fig. 2.30).

Pentru calculul frecvenței de rezonanță a acestei structuri se utilizează relația:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{b_q}{(l+bK)\,V}}, \qquad (2.84)$$

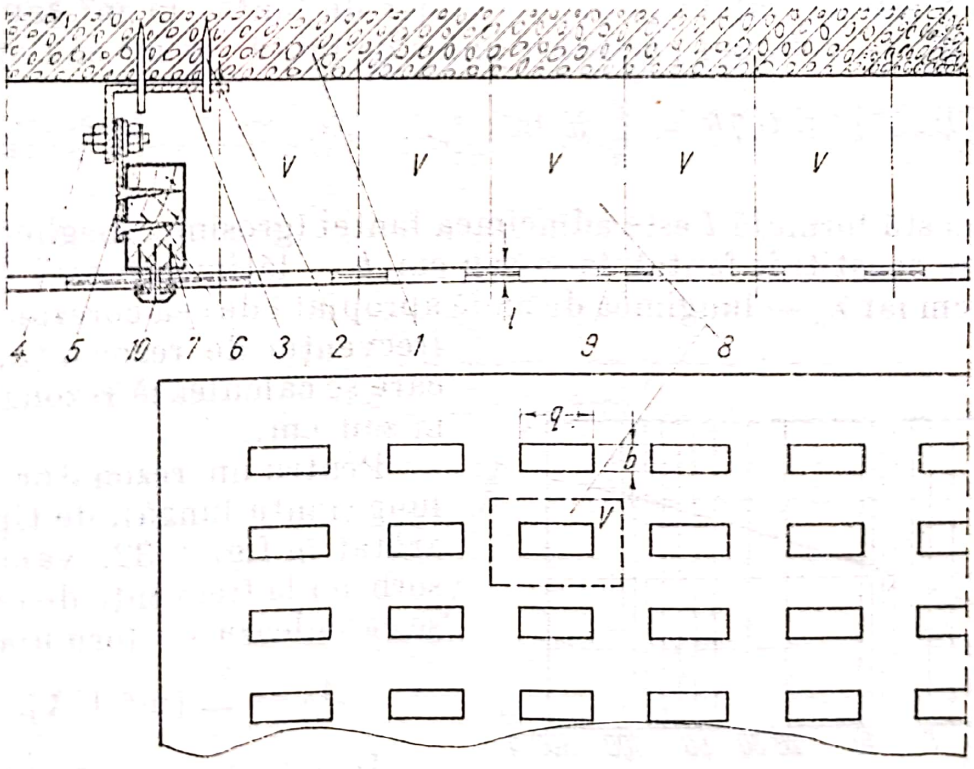


Fig. 2.30. Rezonatori de tip Helmholtz cu fante scurte, de lungime q și lățime b:

1 — perete; *2* — bolț metalic filetat; *3* — platbandă de fixare a bolțurilor; *4* — șurub mecanic; *5* — platbandă; *6* — șuruburi pentru lemn; *7* — cusac; *8* — volumul corespunzător unui singur rezonator; *9* — placă decupată cu fante scurte; *10* — baghetă.

în care s-au folosit notațiile din fig. 2. 30 cu următoarele semnificații:

q este lungimea fantei scurte, în m sau cm;
b — lățimea fantei scurte, în m sau cm;
l — grosimea plăcii utilizate pentru rezonatorii adiacenți, în m sau cm;
V — volumul corespunzător unui singur rezonator, în m³ sau cm³;
K — un coeficient, a cărui valoare este dată în diagrama din fig. 2.31, în funcție de raportul $\frac{q}{b}$.

În cazul folosirii rezonatorilor cu fante, care pot fi individuali, dar și adiacenți (fig. 2.32), frecvența de rezonanță se calculează cu relația:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{S}{l'V}}, \qquad (2.85)$$

în care: S este suprafața pe metru liniar de fantă, în m² sau cm²;
V — volumul pe metru liniar de fantă, în m³ sau cm³;

$$l' = l + 0{,}7b + \frac{2}{\pi}\, b \ln \frac{\lambda_0}{\pi b}.$$

În această formulă l este adîncimea fantei (grosimea baghetei sau a plăcii care constituie fanta), în m sau cm, b — lățimea fantei ($b \ll \lambda_0$), în m sau cm iar λ_0 — lungimea de undă apropiată de cea corespunzătoare frecvenței de rezonanță, pentru care se calculează rezonatorul, în m sau cm.

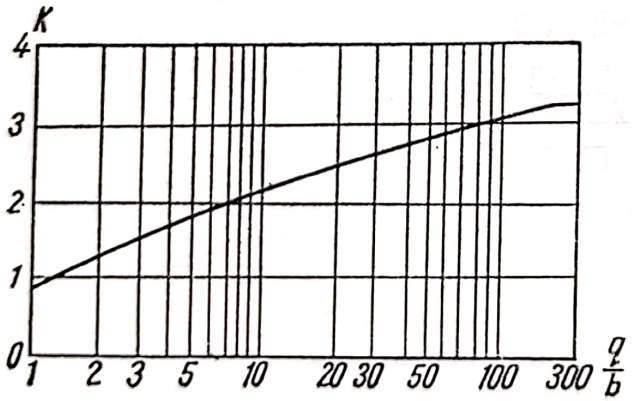


Fig. 2.31. Variația coeficientului K în cazul rezonatorului cu fante, în funcție de raportul $\frac{q}{b}$.

Pentru un rezonator cu șanț lung (fanta lungă), de tipul celui arătat în fig. 2. 32, valoarea absorbției la frecvența de rezonanță se calculează cu formula:

$$A_0 = \frac{\lambda_0}{\pi}\ [\text{m}^2\ \text{UA}]. \qquad (2.86)$$

În calculul absorbției A_0 și în exprimarea dimensiunilor acesteia, se va ține seamă că rezultatele vor fi indicate pentru 1 metru liniar.

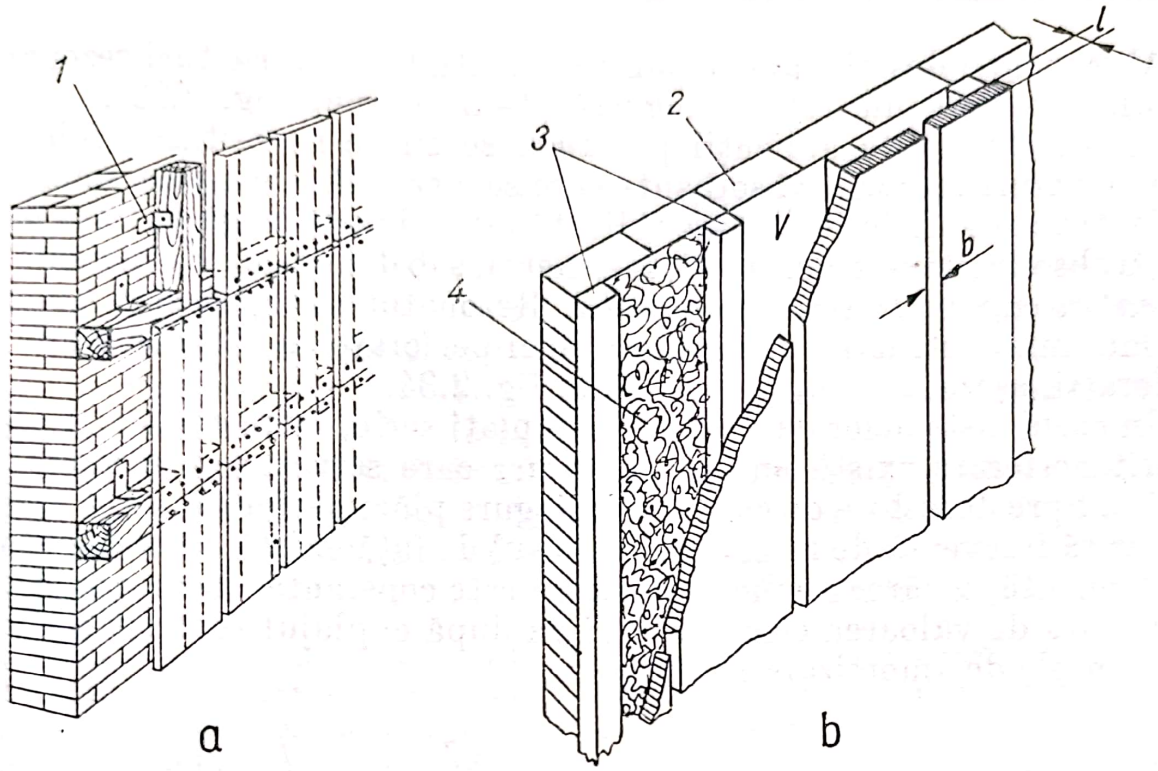


Fig. 2.32. Rezonatori cu fante lungi:

a — fixarea rezonatorilor pe pereți prin caroiaje de lemn; *b* — elementele pentru dimensionarea rezonatorilor; *1* — colțare metalice; *2* — perete; *3* — cusaci de fixare; *4* — material absorbant.

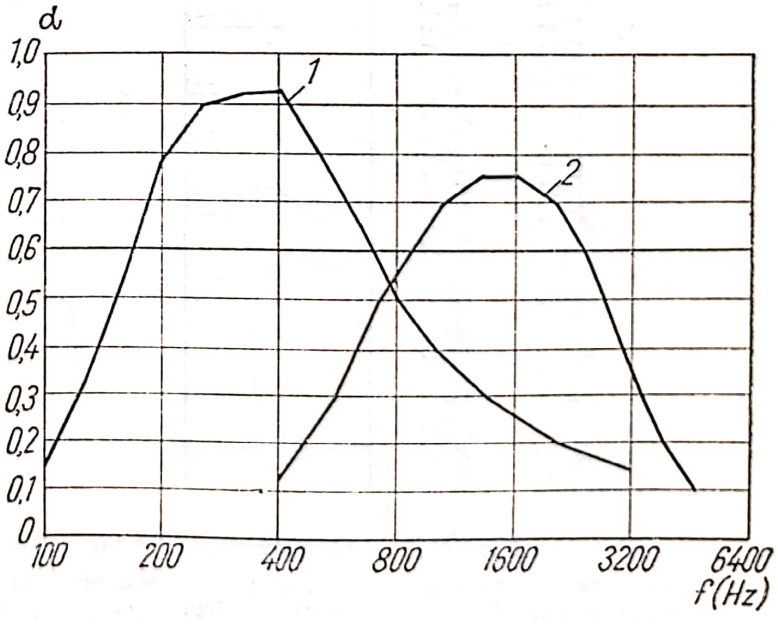


Fig. 2.33. Absorbția selectivă a rezonatorilor adiacenți:

1 — curba de absorbție a unei structuri dimensionate pentru frecvențele joase $f_0 \simeq 300$ Hz; *2* — curba de absorbție a unei structuri dimensionate pentru frecvențele medii $f_0 \simeq 1\,500$ Hz.

Scanned with OKEN Scanner

Absorbanții descriși pînă acum reprezintă totuși structuri rezonant-absorbante de bandă relativ îngustă (2—3 octave) (fig. 2.33).

Totuși, în multe aplicații practice, se simte necesitatea folosirii unor structuri rezonant-absorbante care să permită obținerea unor coeficienți de absorbție de valoare ridicată într-o bandă largă de frecvențe. Acești absorbanți sînt cunoscuți, în general, sub denumirea de sisteme cu *rezonatori cuplați în serie sau paralel*. Rezonatorii aceștia sînt formați din mai multe structuri, conținînd plăci perforate cu diferite grade de perforații, așezate așa cum se arată în fig. 2.34.

În cazul sistemelor cu rezonatori cuplați serie, între cele două plăci diferit perforate există un spațiu de aer care servește ca element de cuplaj. Spre deosebire de cazul unei singure plăci perforate, cînd există o singură frecvență de rezonanță, în cazul de față există două frecvențe de rezonanță, a căror medie geometrică este constantă, dar a căror distanță față de valoarea centrală variază după cuplajul realizat și după rezistențele de amortizare introduse.

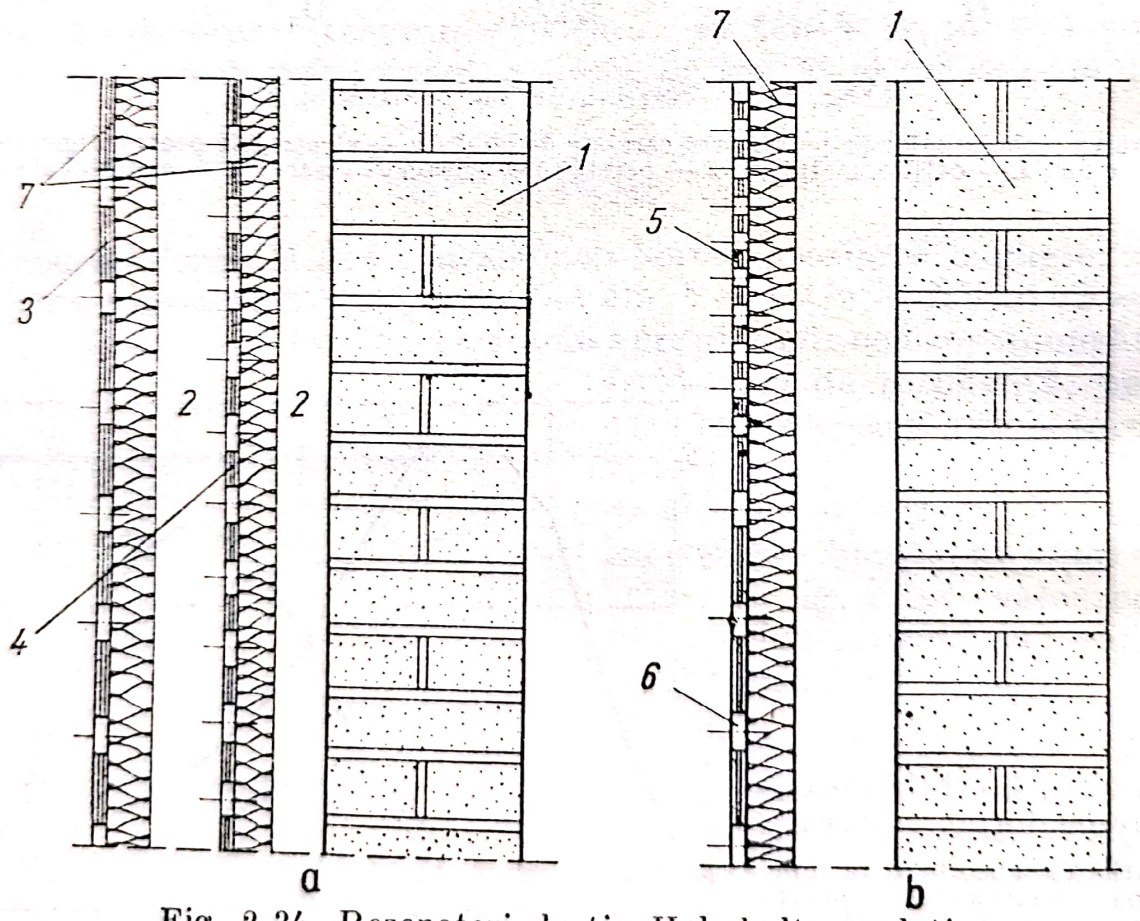


Fig. 2.34. Rezonatori de tip Helmholtz cuplați:
a — rezonatori cuplați serie; *b* — rezonatori cuplați paralel; *1* — zid; *2* — strat de aer; *3*, *4*, *5*,*6* — plăci cu diferite grade de perforație; *7* — straturi poroase.

Cu sisteme formate din cîteva plăci, în banda de frecvențe utilă tratamentelor acustice, pot fi obținuți coeficienți de absorbție mai mari decît $\alpha = 0{,}7$. Amortizările necesare se realizează ca de obicei prin introducerea unor materiale poroase în spațiile de aer de cuplaj sau în gîturile rezonatorilor.

O valoare de asemenea sporită pentru coeficientul de absorbție se obține și prin adoptarea sistemului de rezonatori cuplați în paralel.

Rezonatorii adiacenți simpli au o absorbție selectivă (v. fig. 2.33), pe cînd rezonatorii cuplați în serie sau în paralel se caracterizează printr-o absorbție de bandă largă (fig. 2.35).

Absorbanți acustici de bandă largă pot fi obținuți și prin combinarea între ele a diferitelor tipuri de absorbanți — prin efect de porozitate, prin efect de membrană și a diferitelor tipuri de rezonatori — care pot fi repartizați cît mai variat pe pereții încăperii care se tratează acustic.

Exemple de calcul. 1. Știind că niște rezonatori individuali cu orificiu circular de rază 15 mm, au lungimea gîtului de 60 mm și volumul cavității de 750 cm^3, se cere să se calculeze pe ce frecvență rezonează ei, ce absorbție au la rezonanță și care este banda de frecvențe în interiorul căreia această absorbție nu scade sub 50% din valoarea corespunzătoare rezonanței.

Pentru calculul frecvenței de rezonanță se folosește relația (2.78). Lungimea corectată a gîtului rezonatorului este $l_{ef} = 6 + (1 \times 3) = 9$ cm (s-a considerat $K = 1$).

Deci f_0 rezultă:

$$f_0 = 5{,}42 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{7{,}1}{67{,}50 \times 10^2}} = 176 \text{ Hz} \approx 180 \text{ Hz}.$$

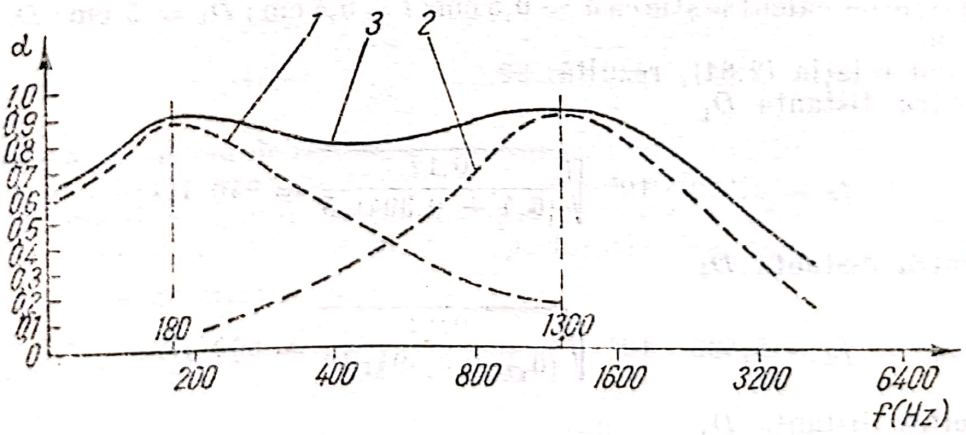


Fig. 2.35. Absorbție de bandă largă realizată cu sisteme de rezonatori cuplați în serie sau în paralel:

1, 2 — rezonatori singulari; *3* — rezonatori cuplați în serie sau în paralel.

Cu relaţia (2.79) se calculează absorbţia la rezonanţă:

$$A_0 = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{34\,000}{180}\right)^2 = 0{,}567 \text{ m}^2 \text{ UA}.$$

Lărgimea benzii de frecvenţe căutată se calculează cu relaţia (2.80):

$$\Delta f = 8\pi^2 \frac{750}{\left(\frac{34\,000}{180}\right)^3} \cdot 180 \approx 1{,}75 \text{ Hz} \approx 2 \text{ Hz}.$$

2. Se cere să se determine la ce frecvenţă rezonează un sistem rezonant-absorbant format dintr-o placă fibrolemnoasă cu grosimea de 4 mm, emailată şi perforată cu orificii avînd diametrul de 5 mm şi distanţa dintre axele găurilor de 12,7 mm (1/2″). Distanţa dintre plăci şi peretele rigid este de aproximativ 50 mm.

Ce se întîmplă cu frecvenţa de rezonanţă a structurii rezonant-absorbante dacă placa fibrolemnoasă de mai sus este depărtată la 120 mm şi la respectiv 160 mm de peretele rigid?

Care este lăţimea de bandă Δf în interiorul căreia absorbţia rezonatorului nu scade sub 50% din valoarea corespunzătoare rezonanţei la distanţele plăcii de perete de 50 mm, 120 mm şi 160 mm?

Pentru a aplica relaţia (2.81) de calcul al frecvenţei de rezonanţă trebuie determinat în prealabil coeficientul de perforaţie $\varepsilon = \frac{S_{găuri}}{S_{placă}}$.

Pentru un rezonator: $S_{gaură} = \frac{\pi a^2}{4} = 0{,}785 \times 0{,}5^2 = 0{,}196$ cm² şi $S_{placă} = 1{,}27 \times 1{,}27 = 1{,}62$ cm², deci

$$\varepsilon = \frac{0{,}196}{1{,}620} = 0{,}121 = 12{,}10\%.$$

Din datele de calcul se ştie că $a = 0{,}5$ cm; $l = 0{,}4$ cm; $D_1 = 5$ cm; $D_2 = 12$ cm; $D_3 = 16$ cm.

Aplicînd relaţia (2.81), rezultă:

— pentru distanţa D_1

$$f_0 = 5{,}420 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{0{,}12}{(0{,}4 + 0{,}394)\,5}} \simeq 940 \text{ Hz};$$

— pentru distanţa D_2

$$f_0 = 5{,}420 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{0{,}12}{(0{,}4 + 0{,}394)\,12}} \simeq 600 \text{ Hz};$$

— pentru distanţa D_3

$$f_0 = 5{,}420 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{0{,}12}{(0{,}4 + 0{,}394)\,16}} = 520 \text{ Hz}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Cu ajutorul relației (2.82) se stabilește că rezonatorii adiacenți amintiți mai înainte permit controlul absorbției în următoarele benzi de frecvențe:

— pentru distanța D_1

$$\Delta f = 4 \times 3{,}14 \times \frac{940}{36{,}3} \times 5 = 1\,640 \text{ Hz};$$

— pentru distanța D_2

$$\Delta f = 4 \times 3{,}14 \times \frac{600}{56{,}7} \times 12 = 1\,600 \text{ Hz};$$

— pentru distanța D_3

$$\Delta f = 4 \times 3{,}14 \times \frac{520}{65{,}2} \times 16 = 1\,600 \text{ Hz}.$$

3. Se cere să se determine frecvența de rezonanță a unui rezonator individual cu fantă lungă, avînd lățimea fantei de 10 mm, adîncimea fantei de 25 mm, iar secțiunea transversală a spațiului de aer rămas între baghetele rezonatorului și perete de 400 cm^2.

Să se calculeze și valoarea absorbției la frecvența de rezonanță.

Cu elementele cunoscute: $S = 1$ cm $\times$ 100 cm $= 100$ cm^2; $V = 400$ cm$^2 \times$ $\times$ 100 cm $= 4 \cdot 10^4$ cm^3; $l' = 2{,}5$ cm $+ 0{,}7 \times 1$ cm $+ 0{,}63 \times 1$ cm $\times$ $\ln \dfrac{310 \text{ cm}}{3{,}14 \times 1 \text{ cm}} = 6{,}08$ cm, aplicînd relația (2.85) se determină frecvența de rezonanță:

$$f_0 = 5{,}42 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{1}{6{,}08 \times 400}} = 110 \text{ Hz}.$$

Cu ajutorul relației (2.86) se calculează valoarea absorbției la frecvența de rezonanță:

$$A_0 = \frac{3{,}10}{3{,}14} = 0{,}98 \text{ m}^2 \text{ UA}.$$

4. Știind că un sistem de rezonatori are fante lungi cu lățimea de 6 mm, realizate din șipci de lemn cu lățimea de 60 mm și grosimea de 20 mm și că aceste șipci se află la distanța de 80 mm de un perete rigid, se cere să se afle care este frecvența de rezonanță a sistemului și ce grad de perforație are structura absorbantă.

În prealabil se determină mărimile:

$S = 0{,}6$ cm $\times$ 100 cm $= 60$ cm^2,

$V = 53{,}3$ cm$^2 \times$ 100 cm $= 5{,}33 \cdot 10^3$ cm^3,

$$l' = 2 + 0{,}7 \times 0{,}6 + \frac{2}{3{,}14} 0{,}6 \ln \frac{100}{3{,}14 \times 0{,}6} = 3{,}93 \text{ cm},$$

necesare pentru calculul frecvenței de rezonanță cu relația (2.85):

$$f_0 = \frac{34\,000}{6{,}28}\sqrt{\frac{60}{53{,}30 \cdot 10^2 \times 3{,}93}} = 298 \text{ Hz}.$$

Gradul de perforație al sistemului de rezonatori adiacenți cu fante lungi este $\varepsilon \approx 9\%$.

5. Se consideră o placă metalică de aluminiu cu grosimea de 1 mm, perforată cu găuri cu diametrul de 3 mm. Distanța dintre axele a două găuri alăturate este 12 mm. Se cere să se calculeze la ce distanță trebuie așezată această placă de un perete rigid pentru a constitui un absorbant cu o absorbție maximă la 600 Hz.

Să se calculeze, de asemenea, care este lărgimea benzii de frecvențe în interiorul căreia această absorbție nu scade sub 50% din valoarea de la rezonanță.

Coeficientul de perforare ε al plăcii se determină făcînd raportul dintre suprafața găurii și suprafața plăcii corespunzătoare unei găuri

$$S_{gaură} = \frac{\pi\, a^2}{4} = 0{,}785 \times 0{,}3^2 = 0{,}07 \text{ cm}^2;$$

$$S_{placă} = 1{,}2 \text{ cm} \times 1{,}2 \text{ cm} = 1{,}44 \text{ cm}^2.$$

Deci:

$$\varepsilon = \frac{0{,}07}{1{,}44} = 0{,}049 \approx 0{,}05 = 5\%.$$

Frecvența de rezonanță fiind impusă ($f_0 = 600$ Hz) și grosimea plăcii fiind dată ($l = 0{,}1$ cm), distanța D la care trebuie pusă placa față de perete se calculează din relația (2.81).

Rezultă:

$$D = \frac{\varepsilon}{\left(l + \frac{\pi}{4}a\right)\left(\frac{f_0}{\frac{c}{2\pi}}\right)^2} = \frac{0{,}05}{(0.1 + 0{,}78 \times 0{,}3)\left(\frac{\frac{600}{34\,000}}{6{,}28}\right)^2} = 12{,}40 \text{ cm}.$$

Din relația (2.82) se deduce care este lărgimea benzii de frecvențe în care structura absorbantă este eficace.

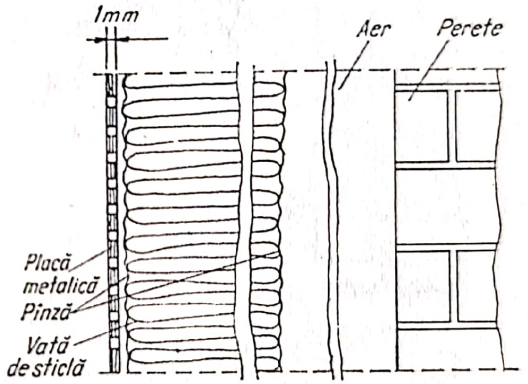
$$\Delta f = 4 \times 3{,}14 \times \frac{600}{57} \times 12{,}40 = 12{,}56 \times 10{,}5 \times 12{,}50 \simeq 1\,642 \simeq 1\,650 \text{ Hz}.$$

Absorbanți acustici uzuali folosiți în practica tratamentelor acustice. În cele ce urmează, se vor da valorile coeficientului de absorbție α în funcție de frecvență pentru diferite materiale absorbante sau structuri absorbante, dintre care majoritatea se găsesc (se pot confecționa) și se utilizează în R.S.R. (tabelul 2.4).

Scanned with OKEN Scanner

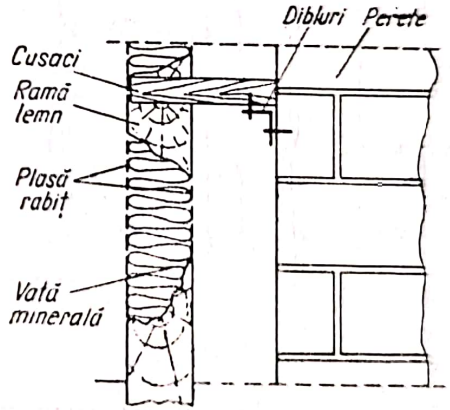
Tabelul 2.4

Coeficienții de absorbție ai unor materiale și structuri absorbante de sunet

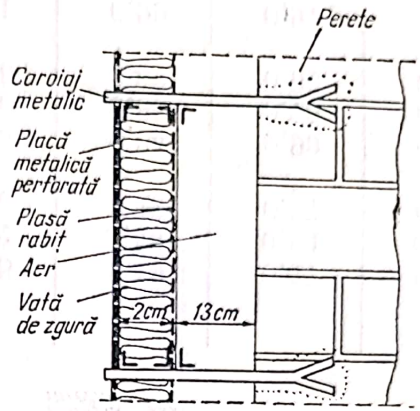
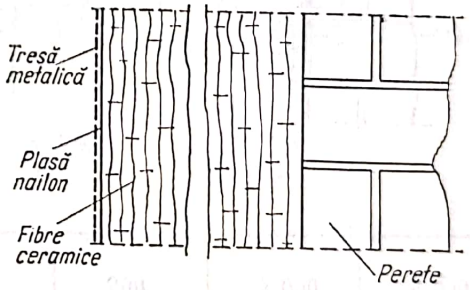
Nr. crt.	Absorbantul	Coeficientul de absorbție α					
		Frecvența (Hz)					
		125	250	500	1 000	2 000	4 000
1	*Structuri poroase absorbante din vată de sticlă acoperite cu plăci perforate* Saltele acoperite cu plăci metalice OL38, cu grosimea de 1 mm, perforate cu un procent de perforație de 36% după cum urmează:						
	— Saltea cu densitatea de 52 kg/m³ și cu grosimea de 3,5 cm, așezată la 11,5 cm de zid.	0,20	0,35	0,66	0,40	0,65	0,60
	— Saltea cu densitatea de 50kg/m³ și cu grosimea de 7 cm, așezată la 8 cm de zid.	0,27	0,52	0,88	0,74	0,84	0,75
	— Saltea cu densitatea de 100 kg/m³ și cu grosimea de 7 cm așezată la 8 cm de zid.	0,49	0,84	0,98	0,85	0,96	0,90

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 2.4 (continuare)

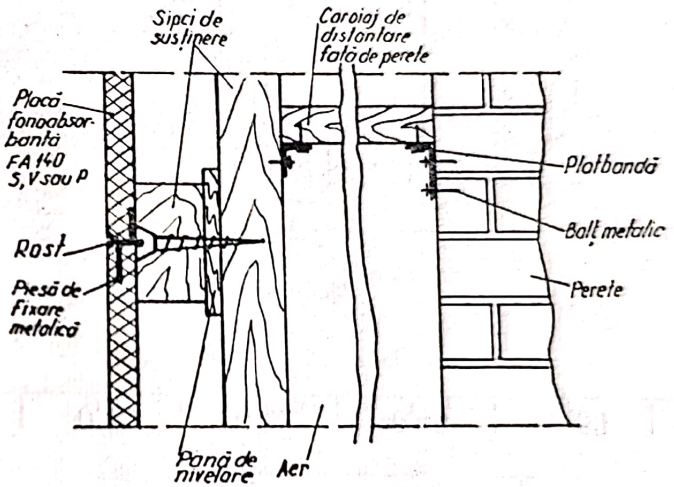
Nr. crt.	Absorbantul	Coeficientul de absorbţie — Frecvenţa (Hz)					
		125	250	500	1 000	2 000	4 000
2.	*Panouri cu absorbanţi poroşi compuşi din saltele de vată minerală şi de sticlă.* Panourile sînt realizate din saltele de vată fixată în panouri cu plase de rabit în ambele părţi:						
	— Saltea din vată minerală, cu 1—2% bitum, cu densitatea de 210 kg/m³ şi cu grosimea de 8 cm, aşezată la 8 cm de zid.	0,65	0,85	0,73	0,75	0,82	0,72
	— Saltea din vată de sticlă, cu densitatea de 108 kg/m³ şi cu grosimea de 8 cm aşezată la 8 cm de zid.	0,56	0,88	0,93	0,82	0,84	0,92

Scanned with OKEN Scanner

3	*Structuri poroase absorbante, cu vată de zgură acoperite cu plăci metalice perforate cu grosimea de 1 mm.* — Saltea din vată minerală, cu densitatea de 360 kg/m³ și cu grosimea de 2 cm, așezată la 13 cm de zid și acoperită cu o placă metalică cu un grad de perforație de 36% (v. fig. alăturată).		0,65	0,75	0,58	0,46	0,53	0,50
4	*Saltele de vată din fibre ceramice pe bază de silicați de aluminiu (fără liant organic)*, cu grosimea de 25 mm, aplicate direct pe perete:							
	— densitatea 32 kg/m³		0,04	0,14	0,34	0,73	0,92	0,88
	— densitatea 64 kg/m³		0,06	0,20	0,58	0,73	0,70	0,80
	— densitatea 96 kg/m³		0,08	0,28	0,60	0,62	0,60	0,72
	— densitatea 128 kg/m³		0,10	0,31	0,50	0,52	0,55	0,70

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 2.4 (continuare)

Nr. crt.	Absorbantul	Coeficientul de absorbţie — Frecvenţa (Hz)					
		125	250	500	1 000	2 000	4 000
5	*Plăci fonoabsorbante poroase din vată minerală (identice cu Sillanul) rigidizată cu lianţi 6—8%* (plăcile sînt produse de IMI Berceni — Jud. Prahova). Există diverse formate (cele mai uzuale 60 cm × 60 cm), finisate pe o faţă. Faţa este fie stropită şi şprituită FA 140/S, fie netedă vopsită FA 140/V, fie netedă vopsită şi perforată FA 140/P. Pentru plăci cu grosimea de 2 cm, valorile lui α măsurate la interferometru se dau în funcţie de distanţa de fixare a plăcii faţă de perete: (v. fig. alăturată).						
	— distanţa 0 cm (lipite de zid)						
	Plăci FA 140/S	0,05	0,08	0,19	0,47	0,90	0,98
	Plăci FA 140/V	0,08	0,12	0,46	0,94	0,98	0,70
	Plăci FA 140/P	0,03	0,05	0,13	0,57	0,94	0,82
	— distanţa 5 cm						
	Plăci FA 140/S	0,16	0,39	0,84	0,99	0,85	0,97
	Plăci FA 140/V	0,27	0,50	0,88	0,75	0,77	0,68
	Plăci FA 140/P	0,12	0,36	0,82	0,96	0,77	0,83
	— distanţa 10 cm						
	Plăci FA 140/S	0,34	0,61	0,99	0,97	0,98	0,90
	Plăci FA 140/V	0,46	0,85	0,83	0,64	0,85	0,82
	Plăci FA 140/P	0,32	0,78	0,98	0,75	0,98	0,89

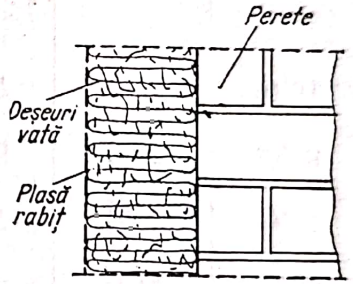
Scanned with OKEN Scanner

— distanța 15 cm Plăci FA 140/S	0,49	0,87	0,97	0,30	0,60	0,88
Plăci FA 140/V	0,62	0,95	0,83	0,45	0,82	0,84
Plăci FA 140/P	0,56	0,86	0,93	0,34	0,67	0,85
Pentru plăci autoportante armate AP cu fața stropită AP/S de dimensiuni 250 m × 120 cm, în grosime de 4 cm se dau următoarele valori pentru α (măsurate la interferometru):						
— distanța 0 cm (lipite de zid)	0,20	0,35	0,77	0,93	0,94	0,95
— distanța 5 cm	0,43	0,67	0,87	0,81	0,90	0,96
— distanța 10 cm	0,56	0,78	0,85	0,73	0,96	0,95
— distanța 15 cm	0,62	0,87	0,78	0,91	0,87	0,97
Plăci de pîslă minerală P-90 cu liant 1,8—2,3% de dimensiuni (5—10)m × (0,6—1,2)m și grosime 25 mm. Valorile lui α măsurate la interferometru sînt:						
— distanța 0 cm lipite de zid	0,11	0,15	0,37	0,70	0,93	0,97
— distanța 5 cm	0,28	0,55	0,92	0,92	0,87	0,95
— distanța 10 cm	0,46	0,77	0,95	0,73	0,95	0,92
— distanța 15 cm	0,63	0,87	0,88	0,61	0,78	0,98

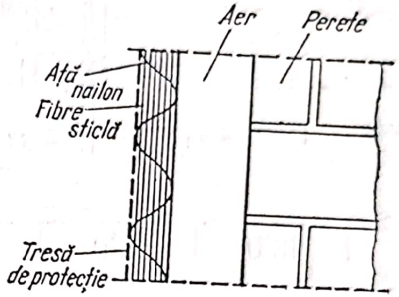
Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 2.4 (continuare)

Nr. crt.	Absorbantul	Coeficientul de absorbţie — Frecvenţa (Hz) 125	500	250	1 000	2 000	4 000
6	*Vata de sticlă (IMI Berceni)* (fibrele din vată de sticlă, cu diametrul de 11—13 μ, sînt rezultate din procesul tehnologic al confecţionării împîsliturilor din fibre de sticlă înainte de tratarea cu liant ureeformaldehidă. Saltelele realizate din aceste deşeuri sînt cusute pe plasă de rabiţ. Densitatea vatei de sticlă este de 45 kg/m³. Valorile lui α sînt date pentru diferite grosimi de saltele (saltelele sînt aşezate la perete) (v. figura alăturată):						
	— grosimea 16,5 cm	0,70	0,92	0,91	0,96	0,98	0,99
	— grosimea 12,5 cm	0,32	0,78	0,99	0,97	0,98	0,97
	— grosimea 10 cm	0,21	0,60	0,99	0,97	0,98	0,96
	— grosimea 5 cm	0,10	0,30	0,72	0,99	0,97	0,97
	— grosimea 2,5 cm	0,06	0,10	0,28	0,67	0,96	0,98



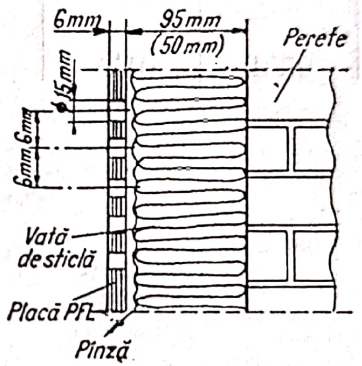
Scanned with OKEN Scanner

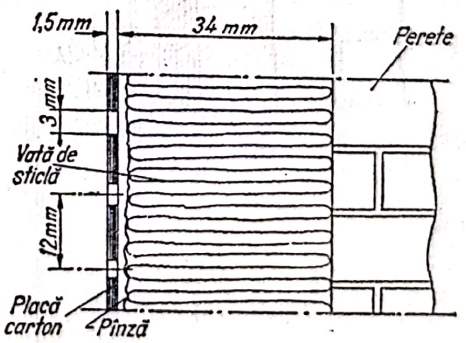
7	*Placă subțire, cu grosimea de 4 mm, și greutatea de 250 g/m², compusă din cinci foi de împîslitură*[1]) alcătuite din fibre de sticlă (cu diametrul de 11—13 μ) Foile de împîslitură asamblate formează o structură care se înrămează la periferia ei Valorile lui α sînt date pentru diferite distanțe ale plăcii față de perete:						
	— distanța 2,5 cm	0,03	0,05	0,10	0,28	0,50	0,70
	— distanța 5 cm	0,05	0,08	0,20	0,45	0,47	0,63
	— distanța 10 cm	0,08	0,18	0,46	0,47	0,40	0,55
	— distanța 15 cm	0,20	0,36	0,55	0,14	0,22	0,40

[1]) Împîsliturile armate și nearmate din fibre de sticlă sînt produse ale Întreprinderii de materiale izolatoare Berceni.

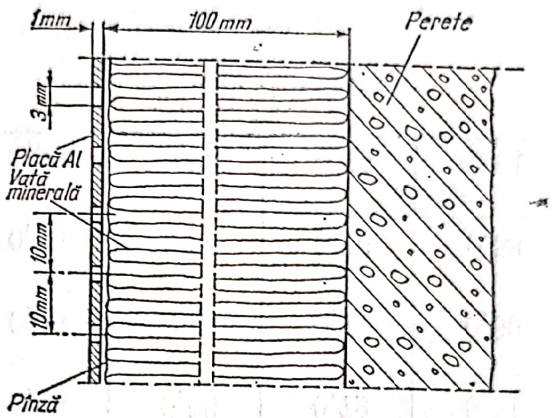
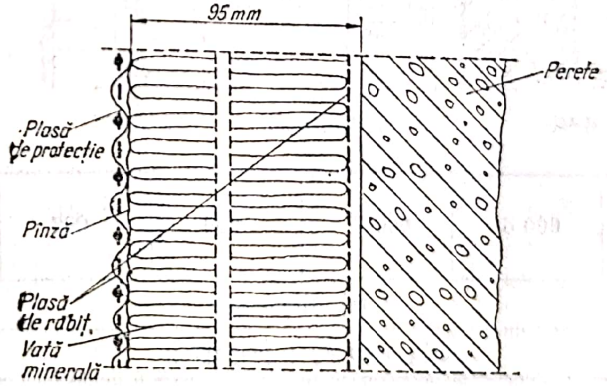
Tabelul 2.4 (continuare)

Nr. crt.	Absorbantul	Coeficientul de absorbţie — Frecvenţa (Hz)					
		125	250	500	1 000	2 000	4 000
8	*Structură rezonant-absorbantă* pentru frecvenţe joase şi frecvenţe medii, compusă dintr-o placă de PFL dur, cu grosimea de 6 mm, perforată cu găuri cu diametrul de 15 mm, distanţate cu 30 mm interax. Sub placă se află o pînză nealbită, care acoperă o saltea din vată de sticlă cu grosimea de 9,5 cm fixată pe cusaci de lemn fără pernă de aer în spate (v. figura alăturată). Densitatea vatei de sticlă este de 32 kg/m³;	0,30	0,92	0,70	0,35	0,13	0,06
9	*Structură rezonant-absorbantă* pentru frecvenţe înalte, compusă dintr-o placă de carton cu grosimea de 1,5 mm, impregnată ignifug, cu perforaţii cu diametrul de ∅ 3 mm, distanţate la 12 mm interax, pusă în faţa unei pînze nealbite şi a unei saltele din vată de sticlă, cu grosimea de 3,4 cm, fără spaţiu de aer în spate (v. figura alăturată).	0,08	0,23	0,55	0,98	0,50	0,20

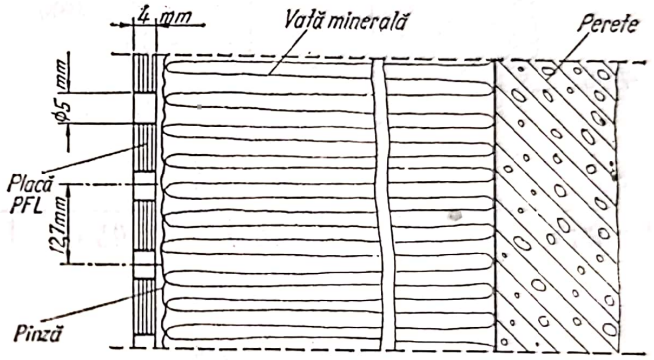




Scanned with OKEN Scanner

10	*Structură rezonant-absorbantă* pentru bandă largă de frecvențe, compusă dintr-o placă de aluminiu cu grosimea de 1 mm, perforată cu găuri cu diametrul de 3 mm distanțate la 10 mm interax și pusă în fața unei pînze nealbite, ignifugate, care acoperă o saltea de vată minerală albă (IMI Berceni) cu grosimea de 10 cm (v. figura alăturată). Placa de aluminiu perforată se confecționează în formate de aproximativ 62 cm × 62 cm la Tehnometal Timișoara		0,60	0,75	0,72	0,84	0,83	0,54
11	*Structură absorbantă*, compusă din vată minerală de densitate de 105 kg/m³ sub formă de saltea cu grosimea de 9,5 cm, cusută pe plasă de rabiț și pusă direct pe perete. În fața saltelei s-a pus o pînză nealbită, ignifugată cu soluție PCI care îi conferă transparență acustică. Totul este protejat cu o plasă de sîrmă cu ochiuri mari de 15 mm × 15 mm sau 8 mm × 8 mm (v. figura alăturată)		0,36	0,80	0,87	0,93	0,96	0,97

Tabelul 2.4 (continuare)

Nr. crt.	Absorbantul	Coeficientul de absorbţie — Frecvenţa (Hz) 125	250	500	1 000	2 000	4 000
12	*Structură rezonant-absorbantă* compusă dintr-o placă de PFL dur, emailată, cu grosimea de 4 mm, perforată cu găuri cu diametrul de 5 mm, distanţate la 12,7 mm interax (produs CIL Pipera) (v. figura alăturată). Sub placă se află o pînză nealbită care acoperă o saltea care poate avea diferite grosimi: 						
	— grosimea 2,5 cm	0,12	0,25	0,58	0,72	0,54	0,33
	— grosimea 5 cm	0,16	0,46	0,88	0,77	0,60	0,35
	— grosimea 10 cm	0,25	0,85	0,89	0,76	0,58	0,35
	— grosimea 16,5 cm	0,50	0,93	0,74	0,85	0,61	0,38
13	*Structură rezonant-absorbantă*, pentru absorbţia frecvenţelor joase şi medii, compusă din rezonatori cu fanta lungă, după cum urmează: — baghete metalice (aluminiu, oţel) cu grosimea de 0,5 mm						

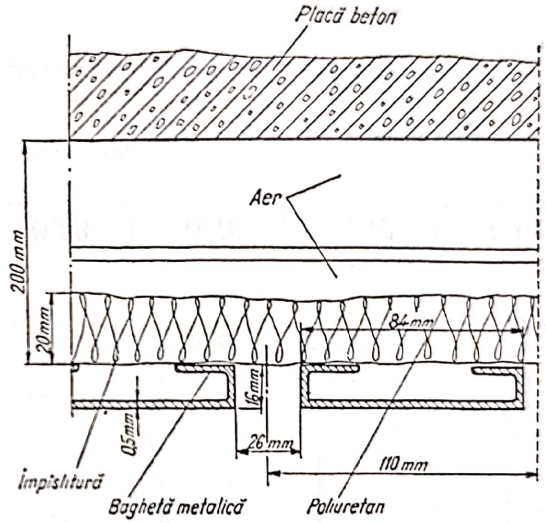
Scanned with OKEN Scanner

curbate la muchii, de lățime 84 mm și adîncime 16 mm (lungimea 1,20—1,80 m)

Baghetele sînt fixate la o distanță de 20 cm de o placă de beton (plafon, pereți) (v. figura alăturată). Dimensiunile fantei rezonatorului sînt:

— lățimea 26 mm și adîncimea 16 mm

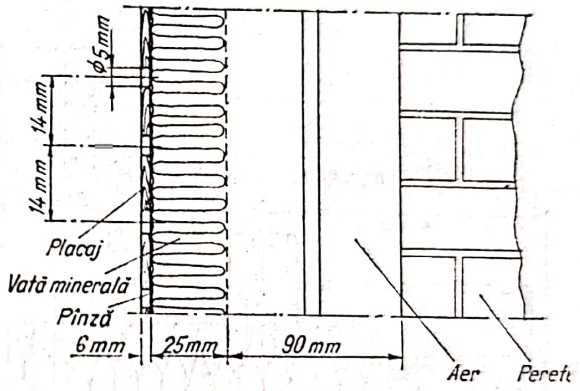
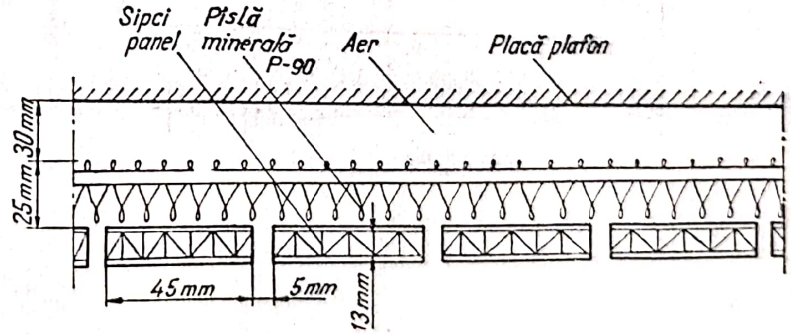
Acest rezonator, amortizat cu un material poros pus în spatele baghetelor, are următorul coeficient de absorbție:



— cu strat de spumă — poliuretan sau europlastic, cu grosimea de 20 mm și cu densitatea de 20 kg/m³	0,60	0,80	0,76	0,80	0,68	0,60
— cu un strat de vată de sticlă (cu liant sintetic), cu grosimea de 20 mm și densitatea de 46 kg/m³	0,62	0,88	0,89	0,80	0,57	0,55

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 2.4 (continuare)

Nr. crt.	Absorbantul	Coficientul de absorbție, Frecvența (Hz) 125	250	500	1 000	2 000	4 000
14	Panouri de placaj cu grosimea de 6 mm perforate cu găuri cu diametrul de 5 mm, distanțate la 14 mm interax. Panourile sînt montate la o distanță de 90 mm, de perete. În spațiul din spatele panourilor sînt fixate saltele din vată minerală, cu grosimea de 2,5 cm						
		0,55	0,83	0,76	0,72	0,61	0,38
15	Șipci din panel de 13 mm × 45 mm cu fante cu lățimea de 5 mm, în spatele cărora se află o saltea din vată minerală, cu grosimea de 2,5 cm și cu 3 cm de aer pînă la zid (v. figura alăturată)						
		0,19	0,28	0,89	0,64	0,53	0,36

16	Fereastră deschisă	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
17	Deschizături ale gurilor canalelor de ventilație (absorbție sau refulare) în încăperi	0,16	0,20	0,30	0,35	0,29	0,21
18	*Persoane așezate pe fotolii cu scaun și spătar din lemn.* Fotoliile au scaunul de dimensiuni 50 cm × 50 cm și spătarul de dimensiuni 65 cm × 50 cm Picioarele scaunului sînt metalice						
	— 2 persoane pe m²	0,23	0,48	0,81	0,98	0,94	0,92
	— 1,52 persoane pe m²	0,25	0,42	0,72	0,82	0,95	0,85
	— 1,04 persoane pe m²	0,18	0,27	0,59	0,68	0,82	0,72
	— 0,72 persoane pe m²	0,10	0,25	0,41	0,58	0,64	0,62

Scanned with OKEN Scanner

Absorbanți acustici funcționali. În urma unor studii efectuate în ultimii ani s-au realizat și alte sisteme de absorbanți, care au avantajul de a se monta și demonta ușor, prezentînd în același timp o eficacitate sporită a absorbției.

Sub denumirea de absorbanți funcționali se înțeleg unități — de cele mai multe ori prefabricate—de diverse forme (prismatică, piramidală, tronconică, cubică, sferică sau combinații ale acestora etc.) (fig. 2.36), care pot fi suspendate de plafoanele încăperilor ce au nevoie de absorbție acustică.

Măsurarea coeficientului de absorbție efectuată în camerele de reverberație a arătat că soluțiile optime pentru montarea acestor absorbanți depind de distanțele care-i despart. De exemplu, pentru structuri rezonant-absorbante de formă piramidală, îmbinate la bază și amplasate cîte 3 pentru un metru pătrat, se obțin absorbții de ordinul 1,4—1,6 m² UA, deci de cîteva ori mai mari decît cele obținute cu absorbanții obișnuiți montați pe peretele rigid al unei încăperi.

Montarea, întreținerea și manipularea acestor unități portabile este foarte simplă. În majoritatea cazurilor sînt folosite materiale absorbante poroase sau structuri rezonant-absorbante confecționate cu plăci metalice perforate (protejate cu pelicule speciale), în spatele cărora se pun saltele de vată minerală cu pînză ignifugată cu substanțe eficace împotriva incendiilor sau saltele din alte materiale poroase ca Sillan-ul etc.

Din ce în ce mai mult se aplică plăci din materiale plastice care nu ard sau azbest, perforate după necesități, pentru a se obține absorbția cerută; astfel, aceste unități de absorbanți funcționali devin corpuri ușoare, care nu necesită sisteme speciale de suspensii.

Absorbanții funcționali sînt folosiți mai ales pentru tratamente acustice ocazionale în săli în care trebuie efectuate captări, respectiv redări ale sunetului pentru ascultare. De asemenea, se folosesc pentru combaterea zgomotului în halele industriale care trebuie sonorizate; în acest caz ele se combină cu ecrane locale separatoare la fiecare loc de muncă, pentru a li se mări eficacitatea.

2.5.4. *Aplicațiile practice ale absorbanților în tratarea încăperilor*

Săli pentru vorbă (săli de conferință, auditorii, amfiteatre, cinematografe, teatre etc.). Se înțelege că pentru a avea performanțe acustice corespunzătoare unei săli destinate vorbirii trebuie să se urmărească obținerea în primul rînd a unei bune inteligibilități. Așa cum se arată în cap. 4, inteligibilitatea scade odată cu creșterea duratei de reverbe-

Scanned with OKEN Scanner

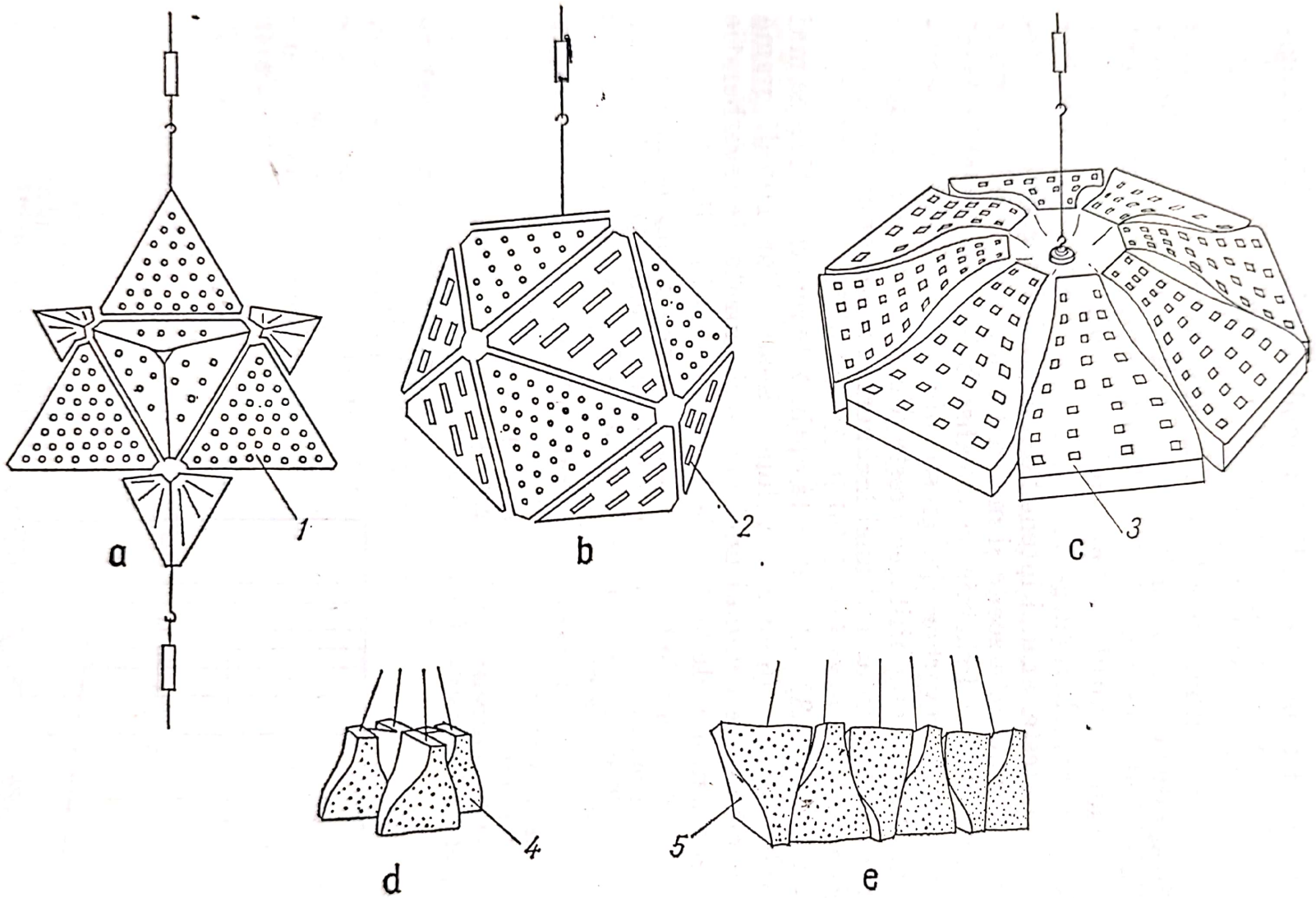


Fig. 2.36. Absorbanți funcționali:

a, *b*, *c*, — unități individuale; *d*, *e* — unități asamblate; rezonatori Helmholtz adiacenți cu perforații de secțiune circulară (*1*); cu fante scurte (*2*); cu perforații de secțiune pătratică (*3*); combinații între absorbanți poroși și structuri rezonant-absorbante (*4*, *5*).

Scanned with OKEN Scanner

rație; acest rezultat se poate dovedi și în mod practic întrucît inteligibilitatea se înrăutățește cînd diferite silabe ale unui cuvînt pronunțat reverberează, mascînd parțial silabele ce urmează.

Dacă durata de reverberație este prea scurtă, atunci nivelul de tărie acustic scade așa de mult încît influențează în mod negativ inteligibilitatea. Inteligibilitatea este maximă cînd vorbitorul și ascultătorul sînt foarte aproape unul de altul (încăpere mică sau distanță redusă în aer liber) și durata de reverberație este nulă. Dacă distanța dintre vorbitor și ascultător se mărește, atunci intensitatea acustică descrește iar inteligibilitatea scade; aceasta scade și mai mult mai ales cînd intervine și un semnal perturbator. Prin micșorarea absorbției, ceea ce echivalează cu mărirea duratei de reverberație, crește nivelul de intensitate acustică, astfel încît și inteligibilitatea crește din nou. Din cele spuse, rezultă că pentru fiecare volum al unei încăperi există o anumită durată de reverberație pentru care inteligibilitatea vorbirii este maximă.

Diagrama din fig. 2.37 indică durata optimă de reverberație (cea mai bună inteligibilitate) în funcție de volumul încăperilor. Din diagramă rezultă că cu cît crește volumul unei încăperi, durata de reverberație trebuie să crească numai de la 0,5 s la 1,0 s și nu mai mult.

E x e m p l u d e c a l c u l. Se cere să se calculeze durata de reverberație pentru o sală de cinema avînd aproximativ 600 locuri și următoarele dimensiuni medii: lungimea — 30 m, lățimea — 16 m, înălțimea — 7 m; volumul sălii rezultă: $V = l \cdot b \cdot h = 30 \times 16 \times 7 = 3\,360$ m³.

Suprafețele interioare ale sălii care permit aplicarea tratamentului acustic absorbant sînt următoarele:

— suprafața plafonului: $30 \times 16 = 480$ m²;
— suprafața pereților laterali: $2(30 + 16) \times 7 = 644$ m²;
— suprafața podelei: $30 \times 16 = 480$ m².

Suprafața totală interioară rezultă: $S_T = 1\,604$ m².

Elementele absorbante de sunet (suprafețe mari) care se introduc în încăpere cu scopul de a-i reduce durata de reverberație, sînt date în cele ce urmează:

Pe plafon (480 m²) se fixează prefabricate din ipsos, reflectante al căror coeficient de absorbție variază cu frecvența în felul următor:

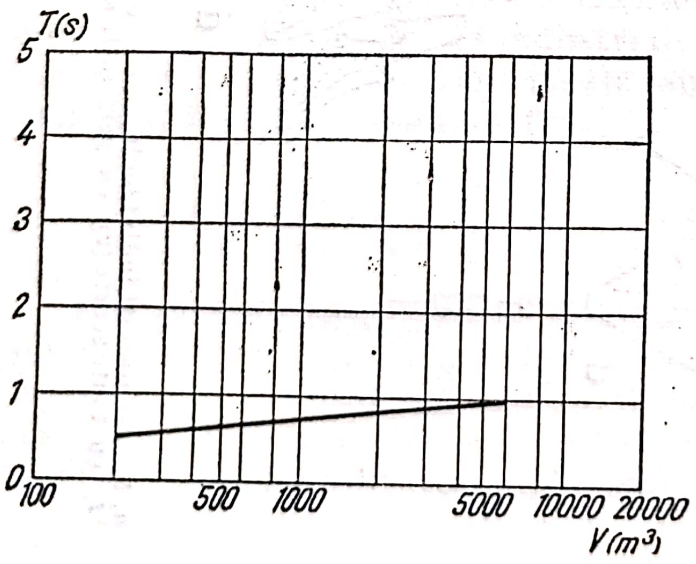


Fig. 2.37. Durata de reverberație optimă pentru vorbă la 1 000 Hz, în funcție de volumul încăperii.

f (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
α	0,02	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06

Pe pereții laterali (420 m²) se montează structuri absorbante de sunet constînd din corpuri ceramice (cărămizi eficiente) cu grosimea de 10 cm, cu goluri pătratice cu latura 1,5 cm și diagonala 2,13 cm, distanțate cu 2,5 cm. Structurile absorbante se găsesc la 10 cm de perete; tot spațiul de aer este umplut cu vată minerală. Se caracterizează prin următoarea variație a coeficientului de absorbție cu frecvența:

f (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
α	0,45	0,70	0,80	0,80	0,68	0,55

Pe peretele din fața spectatorilor (112 m²), în spatele ecranului, se fixează o structură absorbantă constînd din panouri policilindrice din placaj cu grosimea de 6 mm avînd în spate o saltea de vată minerală groasă de 5 cm. Coeficientul de absorbție variază în felul următor cu frecvența:

f (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
α	0,35	0,30	0,20	0,13	0,09	0,08

Pe peretele din fund (112 m²) situat în spatele fotoliilor de spectatori se montează o structură absorbantă constînd dintr-o saltea de vată minerală cu grosimea de 10 cm și cu densitatea de 148 kg/m³, impregnată cu 1,5% bitum, acoperită cu o placă metalică perforată Nr. 5 (STAS 1078-50) cu grosimea de 0,75 mm (placa metalică este perforată cu găuri cu diametrul de ∅ 5 mm distanțate la 8 cm). Coeficientul de absorbție al structurii folosite variază în felul următor:

f (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
α	0,45	0,72	0,78	0,87	0,98	0,96

Pe pardoseală (480 m²) se lipește un covor de mochetă, cu grosimea de 5 mm, caracterizat prin următoarea variație a coeficientului de absorbție cu frecvența:

f (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
α	0,07	0,10	0,16	0,30	0,40	0,50

În sala de cinema există 600 de spectatori așezați pe fotolii capitonate (rips pe suprafețele aflate în contact cu spectatorul). Pentru această situație coeficientul de absorbție variază în felul următor cu frecvența:

f (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
α	0,17	0,36	0,47	0,52	0,50	0,46

Se mai ține seama și de absorbția datorită aerului din sală la frecvențele de 2 000 Hz și 4 000 Hz și pentru un procent de umiditate relativă de 55% la o temperatură de 21°C.

f (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
α	—	—	—	—	0,001	0,0055

Restul finisajului sălii care cuprinde ecranul, vizetele, grilele de ventilație (absorbție și refulare), tîmplăria de panel (ușile, plintele) etc. constituie suprafețe mici care se pot neglija în calculele estimative.

Tratarea acustică conform soluției preconizate se exprimă prin datele din tabelul 2.5, în care s-au trecut rezultatele calculului caracteristicii duratei de reverberație efectuat pentru frecvențele cuprinse între 125 Hz și 4 000 Hz.

Scanned with OKEN Scanner

Calculul caracteristicii de frecvență a duratei de reverberație

Suprafețele pe care s-a aplicat tratamentul (finisajul) respectiv. Obiectele și persoanele ce se află în sală	S m2	Calculul absorbției			
		125		250	
Plăci din ipsos prefabricate cu grosimea de 3 cm (plafon)	480	0,02	9,60	0,05	24,00
Corpuri ceramice cu goluri pătratice și vată minerală în spate (pereții laterali)	420	0,45	188,50	0,70	294,00
Panouri policilindrice din placaj curbat, cu grosimea de 6 mm, cu vată minerală în spate (perete față)	112	0,35	39,20	0,30	33,60
Panouri cu saltele de vată minerală cu grosimea de 10 cm, acoperite cu plăci metalice perforate (perete spate)	112	0,45	50,20	0,72	79,50
Covor mochetă cu grosimea de 5 mm (podea)	480	0,07	33,60	0,10	48,00
Scaune de spectatori fixate în pardoseală și capitonate cu rips	bucăți 600	0,11	66,00	0,18	108,00
Spectatori așezați pe scaune capitonate	persoane 600	0,17	102,00	0,36	216,00

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 2.5

pentru o sală de cinematograf cu $V = 3\,360$ m³ și $S_T = 1\,604$ m²

(m²UA) și al duratei de reverberație (s)

Frecvența (Hz)							
500		1 000		2 000		4 000	
0,06	28,80	0,08	38,50	0,04	19,20	0,06	28,80
0,80	336,00	0,80	336,00	0,68	285,00	0,55	232,00
0,20	22,40	0,13	14,55	0,09	10,10	0,08	8,95
0,78	87,20	0,87	97,50	0,98	101,00	0,96	107,00
0,16	76,50	0,30	144,00	0,40	192,00	0,50	240,00
0,28	168,00	0,35	210,00	0,45	270,00	0,42	252,00
0,47	282,00	0,52	312,00	0,50	300,00	0,40	276,00

Scanned with OKEN Scanner

Absorbţiile respective şi duratele de reverberaţie în diferite ipoteze	S m²	Calculul absorbţiei	
		125	250
Absorbţia sălii de cinematograf A_0 (m²UA), fără spectatori		387,10	587,10
Coeficientul mediu de absorbţie $\bar{\alpha}$		0,240	0,365
$\ln (1 - \bar{\alpha})^{-1}$		0,2744	0,4541
$S_T \ln (1 - \bar{\alpha})^{-1}$		440	730
Absorbţia în aer $4\,mV = 13\,450\,m$			
Absorbţia totală a sălii de cinema fără spectatori A_0 (m²UA)		440	730
Durata de reverberaţie a sălii fără spectatori $T_0 = \frac{0{,}164 \times 3\,360}{4m\,V - S_T \ln (1 - \bar{\alpha})}$ (s)		1,25	0,76
Absorbţia sălii de cinematograf A (m² UA) cu spectatori		423,10	695,10
Coeficientul mediu de absorbţie $\bar{\alpha}$		0,263	0,432
$\ln (1 - \bar{\alpha})^{-1}$		0,3079	0,5621
$S_T \ln (1 - \bar{\alpha})^{-1}$		495	905
Absorbţia în aer $4\,mV = 13\,450\,m$		—	—
Absorbţia totală a sălii de cinematograf cu spectatori A(m²UA)		495	905
Durata de reverberaţie a sălii cu spectatori $T = \frac{0{,}164 \times 3\,360}{4\,m\,V - S_T \ln (1 - \bar{\alpha})}$ (s)		1,12	0,62

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 2.5 (continuare)

(m² UA) și al duratei de reverberație (s)			
Frecvența (Hz)			
500	1 000	2 000	4 000
718,90	840,55	877,30	868,75
0,445	0,525	0,545	0,538
0,5888	0,7444	0,7875	0,7657
945	1 200	1 260	1 230
		0,001 13,45	0,0055 74,00
945	1 200	1 273	1 304,00
0,58	0,47	0,44	0,42
932,90	942,55	907,30	892,75
0,582	0,585	0,565	0,550
0,8675 1 390	0,8795 1 410	0,8324 1 340	0,7985 1 280
		0,001 13,45	0,0055 74,00
—	—		
1930	1 410	1 353	1 354
0,40	0,39	0,41	0,41

Scanned with OKEN Scanner

Calculul estimativ al caracteristicii de frecvență a duratei de reverberație pentru

Suprafețele pe care s-a aplicat tratamentul (finisajul) respectiv. Obiectele și persoanele ce se află în sală. Absorbțiile respective și duratele de reverberație în diferite ipoteze	125
800 m² plafon suspendat construit din prefabricate de ipsos	0,015 12,00
1 000 m² pereți cu tratament acustic din policilindri de placaj, cu grosimea de 4 mm, așezați la 8—10 cm de perete cu saltea din vată de sticlă groasă de 4 cm	0,50 500,00
100 m² panouri de placaj, cu grosimea de 6 mm, perforate cu găuri, cu diametrul de 5 mm distanțate la 14 mm interax, cu saltele din vată minerală, cu grosimea de 2,5 cm, așezate la distanța de 9 cm de pereții laterali	0,55 55,00
500 m² pereți laterali ai sălii cu tencuială	0,015 7,50
800 m² pardoseală din parchet pe asfalt	0,04 32,00
1 300 m² fotolii pentru spectatori, cu scaun și spătar capitonat cu pluș	0,11 143,00
Absorbția totală fără public și fără orchestră A_0(m²UA)	749,50
Absorbția sălii cu 1 300 persoane (diferența față de fotoliile neocupate) $A - A_0$	78,00
100 persoane din orchestră, așezate pe fotolii din lemn	40,00
Absorbția totală cu public și orchestră A (m²UA)	867,50
Absorbția aerului $4\ mV = 40\ 000\ m$	
Durata de reverberație a sălii fără public $T_0 = \frac{0{,}163\ V}{A_0} = \frac{1\ 630}{A_0}$ (s)	2,18
Durata de reverberație a sălii cu public $T = \frac{0{,}163\ V}{A} = \frac{1\ 630}{A}$ (s)	

Tabelul 2.6

o sală de concerte cu $V = 10\,000$ m³, $S_T = 3\,200$ m² și 1 300 fotolii pentru public

Calculul absorbției (m² UA) și al duratei de reverberație (s)				
Frecvența (Hz)				
250	500	1 000	2 000	4 000
0,019 15,20	0,023 18,40	0,022 17,60	0,026 20,80	0,028 22,40
0,37 370,00	0,24 240,00	0,12 120,00	0,06 60,00	0,02 20,00
0,83 83,00	0,76 76,00	0,72 72,00	0,61 61,00	0,38 38,00
0,019 9,50	0,023 11,50	0,022 11,00	0,026 11,30	0,028 14,00
0,04 32,00	0,07 56,00	0,06 48,00	0,06 48,00	0,07 56,00
0,18 234,00	0,28 364,00	0,35 455,00	0,45 585,00	0,42 546,00
743,70	765,90	723,60	786,10	696,40
243,00	247,00	221,00	65,00	52,00
85,00	115,00	140,00	130,00	120,00
1 062,70	1 127,90	1 084,60	981,10	868,40
			0,001 40,00	0,0055 220,00
2,20	2,13	2,15	1,97	1,78
1,54	1,45	1,51	1,60	1,50

Scanned with OKEN Scanner

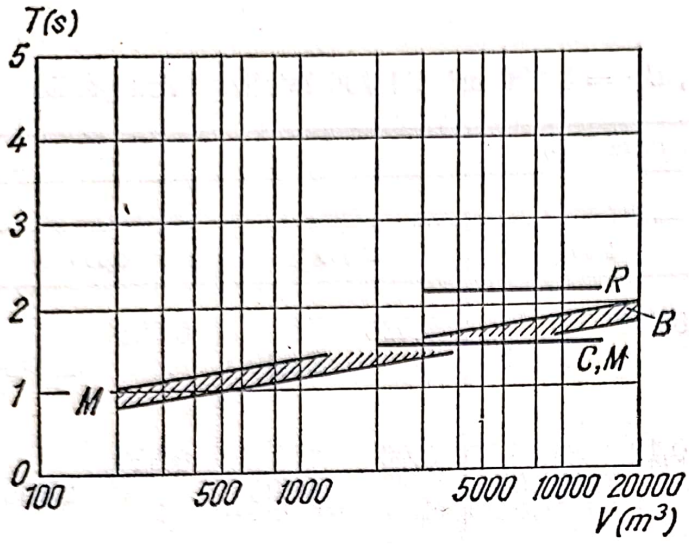


Fig. 2.38. Durata de reverberație optimă pentru săli destinate unor anumite genuri de muzică, în funcție de volumul încăperii; valoarea optimă pentru muzica clasică și modernă (C, M) pentru muzică în general (B), pentru muzică romantică (R).

Săli pentru muzică (săli de concerte, săli pentru festivități, expoziții, săli de audiție în clădirile publice, săli de restaurant etc.). Se știe că unul din factorii care influențează cel mai mult calitatea producției muzicale este durata de reverberație a unei încăperi.

Duratele de reverberație optime pentru diferite volume de săli și pentru frecvența de 1 000 Hz sînt arătate în fig. 2.38.

Calculul duratei de reverberație se efectuează în mod similar cu cel prezentat mai înainte.

Exemplu de calcul. O sală cu un volum de 10 000 m³ cu o capacitate de 1 300 locuri trebuie să fie tratată acustic astfel încît să se obțină o durată de reverberație optimă necesară audiției muzicii. Se va avea în vedere însă că în această sală pot avea loc și concerte de muzică ușoară.

Un calcul estimativ efectuat conform tabelului 2.6 indică durata de reverberație care se poate obține cu o suprafață minimă de tratament acustic (soluție economică).

Săli „polivalente" (pentru vorbă și muzică). Tratamentul acustic al acestor săli este conceput foarte absorbant pentru asigurarea condițiilor de audiție optimă a producțiilor vorbite și a muzicii înregistrate. Utilizîndu-se absorbanți foarte eficace (v. tabelul 2.4), se pot obține durate de reverberație foarte scăzute. Un exemplu în această privință îl constituie Sala Palatului R.S.R. din București în care la un volum util de aproximativ 30 000 m³ și cu 3 000 de locuri se realizează o durată de reverberație mică, aproximativ 1 s, a cărei variație în funcție de frecvență este dată în fig. 2.39.

Adoptîndu-se un astfel de tratament acustic, instalațiile electroacustice din sală fac posibilă utilizarea sălii pentru congrese, conferințe, redări din înregistrările făcute monofonic sau stereofonic, teatru, cinema, operă, recitaluri vocale și instrumentale, muzică ușoară, simfonică etc.

Scanned with OKEN Scanner

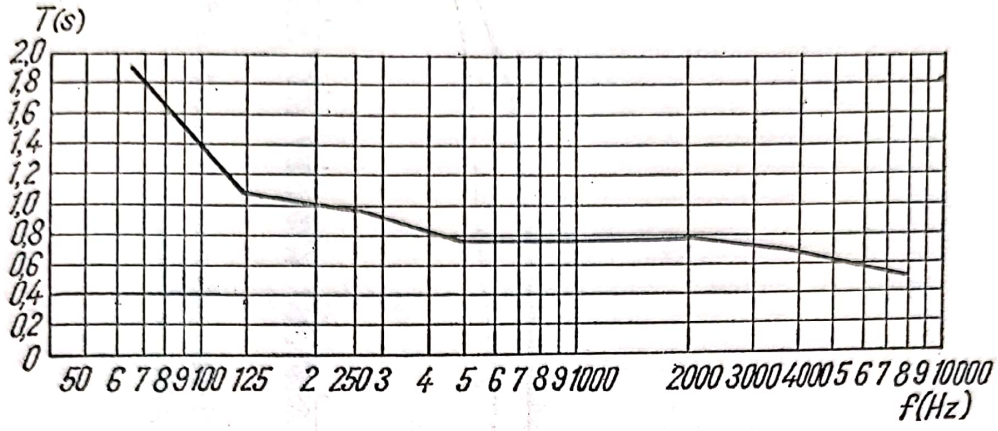


Fig. 2.39. Durata de reverberație a Sălii Palatului R.S.R.

Asemenea săli devin polivalente datorită instalațiilor electroacustice (pot fi folosite pentru un mare număr de genuri de producții muzicale și vorbite). În mod obișnuit — din cauza cerințelor acustice contradictorii care caracterizează diferitele genuri muzicale și vorbite — producțiile acestea diverse nu ar putea fi prezentate decît în mai multe săli separate, fiecare necesitînd un tratament acustic diferit.

Încăperi speciale destinate reproducerilor sonore monofonice și stereofonice de înaltă fidelitate. Pentru ascultări de înaltă fidelitate ale producțiilor muzicale, ca și pentru aprecierile subiective făcute de comisiile de experți tehnico-artistice, Organizația internațională de radio și televiziune recomandă construirea și amenajarea acustică a unor încăperi care trebuie să aibă un volum de 120 ± 30 m³ (pentru încăperi în care se lucrează conform tehnicii monofonice se admit toleranțe negative față de 120 m³ iar pentru cele în care se utilizează tehnica stereofonică se admit toleranțele pozitive). Raporturile între lungime, lățime și înălțime se recomandă să fie de aproximativ 1,9 : 1,6 : 1,0 sau 1,05 : 1,30 : 1,00.

Durata de reverberație trebuie să fie independentă de frecvență în banda 80—10 000 Hz și să fie cuprinsă ca valoare între 0,4 și 0,5 s. O scădere a duratei de reverberație la valoarea 0,3 s la frecvența de 15 000 Hz este admisibilă. Tratamentul acustic fixat pe suprafețele interioare ale încăperii trebuie să fie repartizat simetric față de axa de ascultare a celor două canale de redare în cazul audițiilor stereofonice. O astfel de cameră destinată audiției reproducerilor stereofonice de înaltă fidelitate a fost construită recent și la Radioteleviziunea din București. Variația duratei de reverberație în funcție de frecvență este arătată în diagrama din fig. 2.40 (valori măsurate în camera finisată).

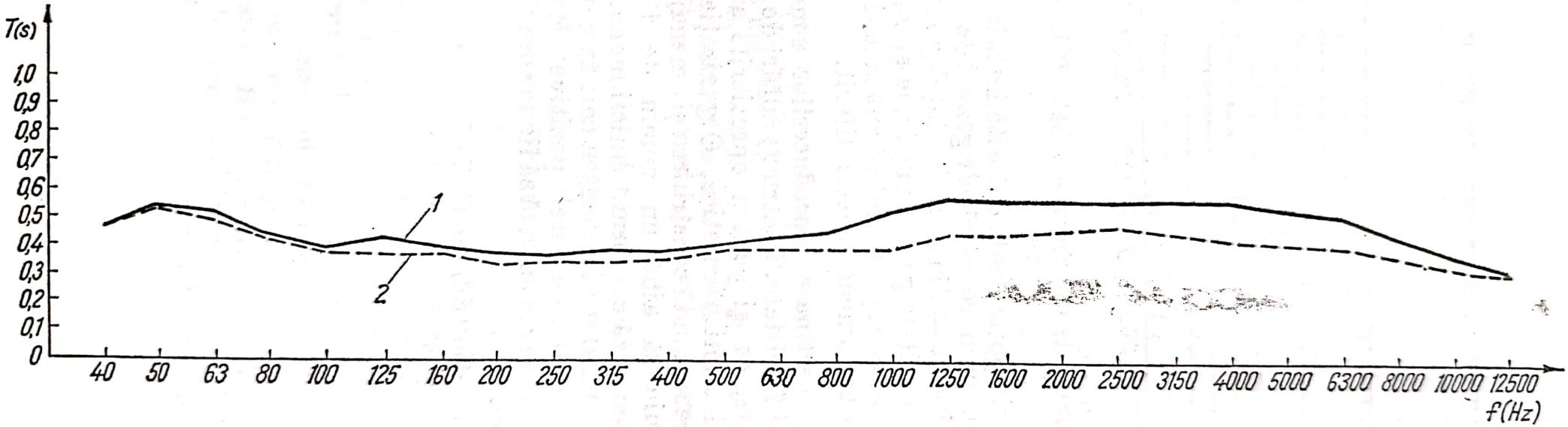


Fig. 2.40. Durata de reverberație a camerei destinate audiției stereofonice de înaltă fidelitate:
1 — fără ascultători; 2 — cu 17 ascultători așezați pe fotolii.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 3

Lanțul electroacustic. Caracteristici, elemente componente

3.1. Generalități

Prin noțiunea de sonorizare se înțelege acoperirea unei suprafețe cu sunet produs prin mijloace electroacustice, respectîndu-se anumite condiții de tărie și de calitate, impuse anterior. Mijloacele electroacustice, incluse în instalațiile electroacustice de sonorizare, permit atît reproducerea sunetului (înregistrat pe disc, pe bandă de magnetofon, pe film, sau a celui captat cu ajutorul microfoanelor), cît și acoperirea cu programul sonor prevăzut a unei suprafețe dintr-o încăpere sau a unui teren situat în aer liber. Aceste instalații, a căror complexitate este în continuă creștere, potrivit cerințelor din ce în ce mai mari ale regizorilor tehnici și ale celor artistici, trebuie să îndeplinească anumite condiții, și anume:

— să fie astfel dimensionate, încît să se poată conecta un număr mare de surse de program: microfoane, magnetofoane și disclectoare;

— să existe posibilitatea de a amplifica semnalele electrice și chiar semnalele de nivel foarte mic (corespunzătoare, de exemplu, unor microfoane electrodinamice), fără a scădea prin aceasta calitatea tehnică a programului sonor;

— să permită reglajul nivelelor semnalelor electrice într-o plajă cît mai întinsă, fără a exista pericolul înrăutățirii parametrilor calitativi ai programului sonor transmis;

— să aibă posibilitatea de corectare — într-o gamă largă — a caracteristicii de frecvență;

— să se păstreze — în condițiile unei funcționări îndelungate — valorile parametrilor tehnici care determină calitatea sunetului;

— să existe posibilitatea amplasării tuturor elementelor care necesită reglaj și supraveghere, în așa fel încît acestea să poată fi manipulate cu ușurință de către personalul tehnic de exploatare;

Scanned with OKEN Scanner

— echipamentul utilizat să aibă volum redus, greutate minimă și consum mic de energie electrică.

Reușita unei sonorizări depinde atît de traducerea în fapt a acestor condiții, cît și de cunoașterea caracteristicilor și posibilităților fiecărui element component luat în parte, precum și a tuturor aparatelor considerate în ansamblul lor funcțional, care poartă numele de lanț electroacustic.

3.2. Caracteristicile unui lanț electroacustic

Lanțul electroacustic reprezintă totalitatea mijloacelor care intervin în transmisia într-un sens determinat a unor semnale de audiofrecvență prestabilite, asigurîndu-se posibilitatea de reglaj al nivelelor acestor semnale, de amestec al sunetului captat prin intermediul microfoanelor cu cel înregistrat anterior, de înlănțuire a diferitelor părți distincte ale programului sonor, de introducere a unor efecte sonore speciale și de control tehnic al parametrilor semnalelor transmise. Pentru completarea definiției este necesar să se precizeze următoarele:

— se înțelege prin noțiunea de *captare de sunet* ansamblul de operații care permit transformarea în semnale electrice a elementelor sonore destinate a fi încorporate într-un program; bineînțeles, sînt considerate ca făcînd parte din captarea sonoră și controlul simultan, tehnic și artistic al programului sonor;

— prin *amestec (mixaj)* se înțelege operația care constă în combinarea în proporții determinate a unor semnale provenind de la surse acustice diferite, în vederea elaborării unei părți a programului sonor;

— în fine, noțiunea de *înlănțuire* poate fi definită ca legătura metodică de la o parte la alta a unui program sonor, după un plan prestabilit, cu scopul producerii unui efect dorit.

Transmisia semnalelor electrice prin intermediul lanțului electroacustic trebuie realizată în condițiile asigurării unei calități tehnice predeterminate. Aprecierea acestei calități este posibilă prin analiza mai multor factori, dintre care mai importanți sînt următorii: caracteristica de frecvență, distorsiunile, dinamica de lucru, menținerea valorilor parametrilor calitativi ai tuturor elementelor componente pe toată durata funcționării aparatajului.

Caracteristica de frecvență. Prin caracteristica de frecvență a unui lanț electroacustic se înțelege legea de variație, reprezentată în majoritatea cazurilor grafic, a amplitudinilor semnalelor electrice în

Scanned with OKEN Scanner

funcție de variabila independentă, frecvența. Din analiza caracteristicii de frecvență se pot trage concluzii referitoare la modul în care sînt redate, în tot spectrul de audiofrecvență, amplitudinile semnalelor transmise.

Distorsiunile. Prin distorsiune se înțelege abaterea de la forma inițială, apărută la un semnal de audiofrecvență, în cursul reproducerii sale prin intermediul unui lanț electroacustic.

Categoriile de distorsiuni sînt următoarele:

— distorsiuni liniare;
— distorsiuni de neliniaritate.

Distorsiunile liniare pot fi:

— distorsiuni de frecvență;
— distorsiuni de fază.

Din categoria distorsiunilor de neliniaritate fac parte:

a) distorsiunile care apar la reproducerea printr-un lanț electroacustic a unui semnal sinusoidal singular.

Astfel de distorsiuni sînt:

— distorsiunile subarmonice;
— distorsiunile armonice.

b) distorsiunile care apar la reproducerea prin lanțul electroacustic a două sau a mai multor semnale sinusoidale. Din această categorie pot fi amintite distorsiunile de intermodulație.

Distorsiunile liniare. Acestea se definesc ca fiind acele distorsiuni ce apar la semnalele transmise printr-un lanț electroacustic și care nu conțin componente diferite de cele ale semnalului aplicat la intrarea lanțului.

Distorsiunea de frecvență (care potrivit documentului CEI 29 BC 75 din 1965 a fost denumită „*răspuns cu frecvența*") reprezintă variația amplitudinilor semnalelor de la ieșirea unui lanț electroacustic, cînd la intrarea acestuia se aplică semnale de amplitudine constantă și de frecvență variabilă.

Distorsiunea de fază (denumită — conform documentului CEI 29 BC 75 din 1965 — „*răspuns cu faza*") se definește ca fiind diferența de fază, în funcție de frecvență, dintre semnalul aplicat la intrarea lanțului electroacustic și cel de la ieșirea sa.

Scanned with OKEN Scanner

Diferența de fază în funcție de frecvență, $\Delta\varphi$, se poate exprima fie în radiani, fie în grade, fie în microsecunde (întîrziere τ). Expresia sa matematică este:

pentru $\Delta\varphi$ în radiani, $\tau = \frac{\Delta\varphi}{2\pi f} 10^6\ \mu s$,

pentru $\Delta\varphi$ în grade, $\tau = \frac{\Delta f}{360 f} 10^6\ \mu s$.

Distorsiunile de neliniaritate. Acestea apar la reproducerea unui semnal de audiofrecvență sinusoidal, singular și de frecvență f și se manifestă prin prezența în semnalul de la ieșirea lanțului electroacustic a componentelor de frecvență f/n și nf (în care n este un număr întreg).

Dacă în semnalul reprodus sînt cuprinse componente de frecvența f/n, distorsiunile se numesc *subarmonice*.

Distorsiunile armonice se caracterizează prin apariția în semnalul de la ieșirea lanțului electroacustic a componentelor de frecvențe nf. Relația matematică prin care se poate defini această categorie de distorsiuni este:

$$K\,[\%] = \sqrt{\frac{A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 + \ldots}{A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 + \ldots}} \cdot 100, \qquad (3.1)$$

în care A_1, A_2, A_3, A_4 sînt componentele de frecvențe f, $2f$, $3f$, $4f$ etc.

Distorsiunea de intermodulație reprezintă acea categorie de distorsiune de neliniaritate care apare la reproducerea a două semnale sinusoidale de frecvențe f_1 și f_2 prin intermediul unui lanț electroacustic. Ea se manifestă prin apariția în semnalul de la ieșirea lanțului a unor componente de frecvențe $f_2 \pm qf_1$ în care q este un număr întreg și f_2 este mai mare decît f_1. Sub forma cea mai generală, distorsiunile de intermodulație pot fi definite prin următoarea relație matematică:

$$K\,[\%] = \sqrt{\frac{\sum_{q=1}^{q=n} (U_{f_2 - qf_1})^2 + (U_{f_2 + qf_1})^2}{U_{f_2}}} \cdot 100. \qquad (3.2)$$

Dinamica. Celălalt parametru, dinamica, indică modul în care sînt reproduse de către o instalație de sonorizare nuanțele orchestrale indicate de compozitor, începînd cu piano-pianissimo (ppp) și terminînd cu forte fortissimo (fff), trecînd prin mezzopiano (mp) distinct de mez-

Scanned with OKEN Scanner

zoforte (mf). Deoarece această problemă, a dinamicii de lucru, prezintă o importanță deosebită pentru cei care se ocupă de reproducerea sunetului în general și de sonorizare în particular, în cele ce urmează se vor preciza diferitele concepții despre această noțiune.

— *Dinamica fizică* poate fi definită ca raportul între presiunile sonore maxime și cele minime. Exprimată — în decibeli —printr-o relație matematică, valoarea dinamicii fizice este:

$$\mathcal{D} = 20 \lg \frac{P_{max}}{P_{min}} = 10 \lg \frac{I_{max}}{I_{min}} \text{ [dB]} \qquad (3.3)$$

în care: P_{max}, P_{min} sînt presiunile acustice maxime și minime;
I_{max}, I_{min} — intensitățile acustice maxime și minime.

— *Dinamica muzicală*, în cazul audiției directe într-o sală de concert a unei bucăți muzicale, este definită ca raportul dintre semnalele cele mai puternice și cele mai slabe.

— *Dinamica tehnică* a unui lanț electroacustic reprezintă raportul între tensiunile electrice U_s, care duc la un regim de saturație și cele corespunzătoare zgomotului de fond U_{zg}; relația matematică prin care se definește această dinamică este:

$$\mathcal{D} = 20 \lg \frac{U_s}{U_{zg}} \text{[dB]}. \qquad (3.4)$$

— *Dinamica tehnică ponderată* este dinamica tehnică rezultată din măsurarea cu un filtru avînd caracteristica de frecvență asemănătoare cu cea a organului auditiv (v. fig. 6.24).

— În fine, mai poate fi definită și o *dinamică psihoacustică*, în special în cazul ascultărilor din încăperile de locuit. Ea reprezintă raportul dintre nivelul sonor maxim, pentru care audiția devine neplăcută și nivelul „de mascare" (acesta din urmă putînd să apară fie din cauza unor zgomote exterioare, fie din cauza unor zgomote proprii lanțului electroacustic).

Ca ordin de mărime, dinamica depinde de tipul sursei sonore, valorile sale fiind cuprinse într-o gamă foarte largă. Așa, de exemplu, o voce șoptită prezintă o dinamică maximă de numai 20 dB, un solist vocal—de 45 dB, un violoncel—de 50 dB, un clarinet—de 60 dB, un cor—de 65 dB etc. În ceea ce privește dinamica muzicală orchestrală, ordinul de mărime al acesteia este de 80 dB, valoare ce reprezintă raportul dintre nivelele corespunzătoare pasagiilor de fortissimo (aprox. 110 dB) și cele corespunzătoare pasagiilor de pianissimo (20—30 dB). Trebuie precizat

Scanned with OKEN Scanner

că nivelele de 20—30 dB, considerate ca minime, pot fi obținute numai în condițiile unei încăperi cu izolație fonică perfectă, cu durată de reverberație foarte redusă și în absența publicului. Practic, însă, valorile dinamicii sînt mai mici. Pentru determinarea lor s-au făcut nenumărate încercări și măsurări de laborator, rezultatele unora dintre ele fiind prezentate, cu titlu informativ, în cele ce urmează. Aceste măsurări au fost făcute cu o orchestră simfonică care a interpretat muzică clasică și contemporană, obținîndu-se următoarele valori finale:

— nivelul sonor superior (cel mai ridicat pe toată durata concertului): 109 dB;
— nivelul sonor superior, depășit o dată la 10 s: 105 dB;
— nivelul inferior, obținut în 10% din timp: 62 dB;
— nivelul minim atins: 58 dB.

Rezultă că în cazurile extreme, valoarea dinamicii este de 109 — 58 = 51 dB, iar în cazurile cu probabilitatea cea mai mare, 105 — 62 = 43 dB. Aceste valori, desigur, nu au un caracter universal valabil, totuși ele oferă posibilitatea de a compara valorile teoretice cu cele practice.

În afara dinamicii muzicale, s-a definit mai înainte și dinamica tehnică. Aceasta din urmă îi interesează în mod deosebit pe cei care proiectează, întreține sau exploatează instalații electroacustice de sonorizare. Astfel, dinamica unui lanț electroacustic reprezintă diferența dintre nivelul de saturație (limita obișnuită de putere maximă, fără a exista pericolul de a apărea distorsiuni neliniare sau perturbări datorate diafoniei între circuitele vecine) și nivelul de zgomot.

Între dinamica muzicală și cea tehnică nu există o relație de egalitate, deoarece lanțul electroacustic prin caracteristicile elementelor sale componente o modifică pe prima. Ca urmare, nici între dinamica de la intrarea lanțului și cea de la ieșirea sa nu există această relație de egalitate. În scopul determinării influenței lanțului electroacustic asupra dinamicii de la intrarea sa, în unele țări s-au stabilit metode de apreciere. Astfel, s-au trasat, pentru diferite tipuri de lanțuri electroacustice, așa-numitele „curbe caracteristice limită", care reprezintă relațiile de dependență între cele două dinamici și indică, în același timp, în ce măsură lanțul electroacustic modifică dinamica la intrare. Așa cum rezultă din fig. 3.1, caracteristica ideală ar fi o dreaptă care ar face cu abscisa un unghi de 45° (curba *a*). În acest caz dinamica la ieșirea lanțului ar fi egală cu cea de la intrarea sa. O astfel de curbă, neputîndu-se obține în practică, s-a dovedit necesar să se traseze o caracteristică limită, corespunzătoare lanțului electroacustic cu performanțele

Scanned with OKEN Scanner

cele mai slabe (curba *c*). Ea este trasată pentru lanțul cu amplificare totală de 90 dB, fiind cunoscută, din această cauză, sub denumirea de G 90. Între această „curbă caracteristică limită" și cea ideală trebuie să se situeze oricare altă caracteristică, a oricărui lanț electroacustic cu performanțe în limite admisibile. Pentru exemplificare s-a trasat și curba *b* a unui lanț electroacustic de fabricație Siemens & Halske. Analizînd caracteristica *b*, se observă că, între cele două dinamici există următoarele relații: pentru un microfon cu o sensibilitate de 0,1 mV/μb și un nivel de zgomot de —123 dB, cînd presiunea sonoră are valoarea de 1 μb (corespunzătoare unui nivel de presiune de 74 dB — dacă se consideră presiunea de referință $2 \cdot 10^{-4}$ μb —), dinamica la ieșire este de 41 dB, în timp ce la intrare este de 45 dB. În cazul unei presiuni sonore de 31 μb (corespunzătoare unui nivel de presiune de 104 dB), dinamica la ieșire este de 69 dB, în timp ce la intrare este de 75 dB. Exemple pot fi date și pentru alte surse de program, ca: microfoane condensator, magnetofoane etc., în fiecare caz putîndu-se trage concluzii referitoare la valorile celor două dinamici.

Lipsa unei relații de egalitate între dinamica de la intrarea lanțului și cea de la ieșirea sa impune necesitatea introducerii unui reglaj manual al dinamicii. Acest lucru nu-l jenează pe ascultător, deoarece acesta este interesat îndeosebi în păstrarea unei gradații relative a tăriilor acustice și mai puțin în reproducerea tuturor acestor tării, așa

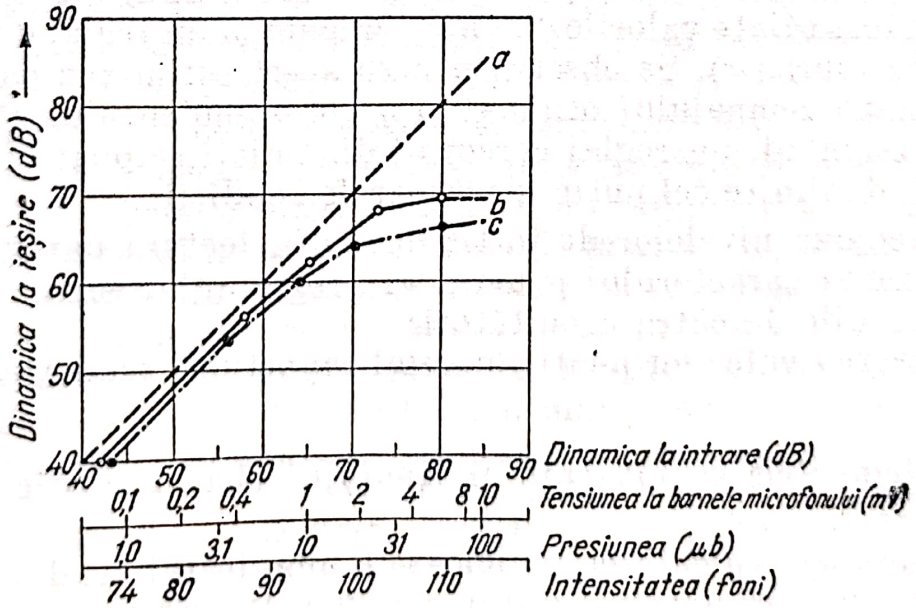


Fig. 3.1. Curbe caracteristice pentru lanțuri electroacustice:
a, *c* — curbe caracteristice limită (ideală și inferioară); *b* — curba caracteristică a unui lanț electroacustic real.

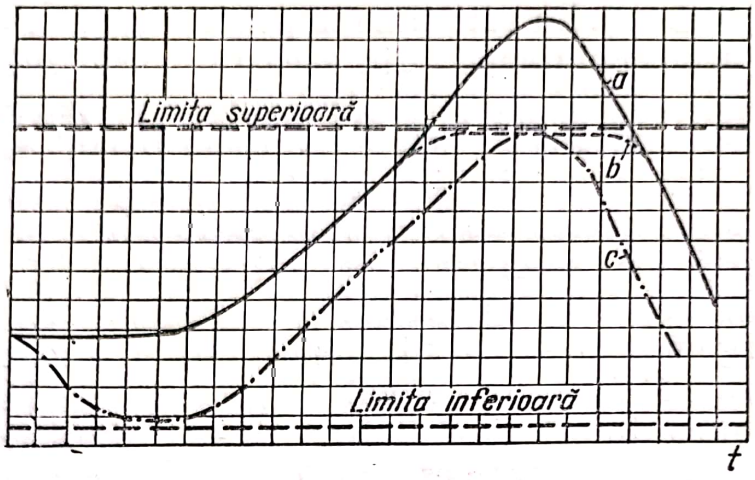


Fig. 3.2. Exemplu de reglaj al dinamicii:

a — caracteristica de nivele fără reglaj al dinamicii; *b* — aceeași caracteristică cu reglaj executat în mod incorect; *c* — aceeași caracteristică cu reglaj corect.

cum ar fi percepute la o audiție directă. Ceea ce se cere în mod imperios este ca cel care efectuează această operație de reglaj să dovedească competență și îndemînare, astfel încît ascultătorul să aibă impresia că nu a intervenit nici un reglaj al aparatelor. Reducerea nivelelor de fortissimo pe care le anunță partitura trebuie făcută progresiv și în trepte mici (de maximum 2 dB). În fig. 3.2 este arătată desfășurarea curbei originale (curba *a*), o curbă (*b*) rezultată în urma unui reglaj defectuos (în care au fost tăiate valorile de vîrf), precum și un reglaj de dinamică corect făcut (curba *c*). Se observă pentru acest ultim caz paralelismul între anvelopa semnalului original și a corespondentului său electroacustic. Rezumînd, un reglaj corect al dinamicii se poate face numai cînd sînt îndeplinite cel puțin următoarele condiții:

— prevederea nivelelor de fortissimo prin lectura partiturii;

— păstrarea caracterului general al programului sonor fără intervenții sesizabile de către ascultători;

— păstrarea valorilor pentru nivelul raportului semnal/zgomot.

3.3. Elementele componente ale lanțului electroacustic

Realizarea și exploatarea judicioasă a unei instalații de sonorizare implică atît cunoașterea modului în care pot fi determinați principalii parametrii ai lanțului electroacustic — dinamica, atenuările respectiv cîștigurile elementelor din componența sa, toate acestea vor fi tratate

la paragraful 3.4), cît și a caracteristicilor tehnice ale fiecărui element component în parte.

Astfel, în cele ce urmează, după o prezentare cu caracter general a traductoarelor — atît de divers și frecvent utilizate în instalațiile de sonorizare — vor fi analizate în ordinea pozițiilor pe care le ocupă în lanțul electroacustic, principalele componente ale acestuia, după cum urmează:

— surse de program: microfoane, magnetofoane, disclectoare (picupuri), dispozitive de redare a sunetului de pe film;
— amplificatoare;
— difuzoare, inclusiv incintele și coloanele cu difuzoare.

3.3.1. *Traductoare*

În accepțiunea cea mai largă a cuvîntului, un traductor este un dispozitiv capabil să transforme o anumită formă de energie — de intrare — într-o altă formă de energie — de ieșire. Cum în instalațiile electroacustice, traductoarele au o utilizare multiplă (ca microfoane, difuzoare, mecanolectoare etc.), se impune ca necesară atît definirea diferitelor tipuri de traductoare cît și precizarea principalelor lor caracteristici.

Traductoarele pot fi împărțite în două principale categorii: pasive și active. Se numește *pasiv* un traductor a cărui energie de ieșire este egală cu energia de intrare (considerînd neglijabile unele pierderi inerente). Dacă energia de ieșire este mai mare decît cea de intrare, traductorul se numește *activ*. Fiecare din cele două categorii cuprinde mai multe tipuri de traductoare, așa cum se arată în cele ce urmează.

Traductorul reversibil poate efectua transformări de energie în ambele sensuri de funcționare ca, de exemplu: energia electrică în energie mecanică și, invers, energia mecanică în energie electrică. După modul în care traductorul transformă o energie în alta, se pot defini alte două tipuri de traductoare: *liniare* și *neliniare* sau *polarizate*. La traductoarele liniare mărimile prin care se definește procesul de convertire sînt legate prin ecuații de gradul întîi, iar la cele neliniare sau polarizate, prin ecuații de gradul doi. În fine, ar mai trebui precizat ca tip aparte și *traductoarele electroacustice*, așa cum sînt numite toate traductoarele întîlnite în instalațiile de sonorizare. Acest tip de traductor se caracterizează prin faptul că primește energie acustică și o transformă în energie electrică (cazul microfonului) sau efectuează transformarea inversă (cazul difuzorului). Tipurile uzuale de traductoare electroacustice se deosebesc prin modul în care sînt realizate și prin principiul adoptat în concepția lor. În acest sens, pot fi amintite unele tipuri mai impor-

Scanned with OKEN Scanner

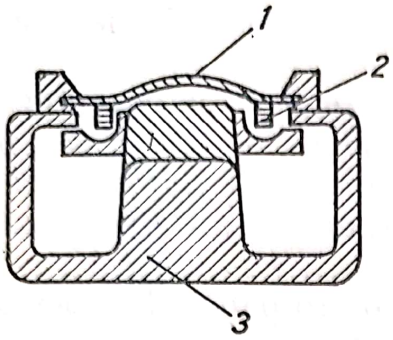


Fig. 3.3. Traductor electrodinamic:

1 — diafragmă; *2* — bobină mobilă; *3* — magnet permanent.

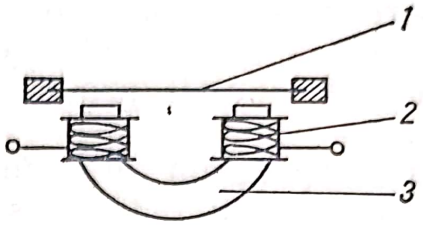


Fig. 3.4. Traductor electromagnetic:

1 — diafragmă; *2* — bobină; *3* — magnet permanent.

tante ca: electrodinamice, electromagnetice, electrostatice, piezoelectrice.

Traductorul electrodinamic. Acest traductor de tip liniar, este alcătuit dintr-o bobină foarte ușoară, parcursă de un curent electric (fig.3.3) și care este situată în cîmpul magnetic radial al unui magnet permanent. Această bobină este supusă acțiunii unei forțe F, proporțională cu amplitudinea curentului care o străbate, și anume:

$$F = Bli, \tag{3.5}$$

în care: F este forța electrodinamică;
B — inducția magnetică în întrefierul inelar;
l — lungimea conductorului;
i — curentul care străbate conductorul.

După cum se observă, relația (3.5) reprezintă o funcție liniară și din această cauză traductorul se numește liniar.

Traductorul electromagnetic. Acest traductor este de tipul polarizat. El comportă un magnet permanent, al cărui flux polarizează magnetic cele două piese polare, pe care se găsește înfășurată cîte o bobină. O diafragmă, realizată din oțel moale, închide circuitul magnetic, lăsînd totuși un întrefier suficient de mare pentru a-i permite să oscileze (fig. 3.4).

Sub efectul polarizării continue, diafragma este supusă acțiunii unei forțe de atracție F, care-i produce o deformare permanentă, dîndu-i o formă apropiată de cea parabolică.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă se notează cu B inducția permanentă statică în întrefier, valoarea forței F se obține din relația:

$$F = KB^2, \tag{3.6}$$

în care K este un factor de proporționalitate. Această forță este echilibrată de forțele mecanice de origină elastică datorate deformării diafragmei.

Sub influența curentului de modulație i, inducția este modificată cu o cantitate $\delta B \ll B$, rezultînd astfel o variație dF a forței de atragere. Prin urmare, forța totală va avea în acest caz expresia:

$$F + dF = K(B + \delta B)^2. \tag{3.7}$$

Prin dezvoltarea relației (3.7) se obține pentru dF ecuația:

$$dF = 2KB\delta B + K\delta B^2. \tag{3.8}$$

Se observă că pentru păstrarea unei relații liniare între dF și δB, cel de-al doilea termen ($K\delta B^2$) trebuie să fie neglijabil în raport cu primul ($2KB\delta B$). Deoarece de la început s-a făcut precizarea că $B \gg \delta B$, această condiție este satisfăcută. Rezultă de aci necesitatea unui cîmp permanent foarte puternic. În felul acesta se observă că prin polarizare s-a putut înlocui relația pătratică (3.6) dintre cele două mărimi principale ale procesului de convertire printr-o relație liniară

$$dF = 2KB\delta B. \tag{3.9}$$

De fapt, această problemă a polarizării este valabilă, așa cum se va vedea din cele ce urmează și pentru traductorul electrostatic, unde va fi necesar să se introducă o tensiune electrică de mărime constantă U mult mai mare decît potențialul e. Generalizînd, se poate spune că polarizarea, respectiv introducerea unor mărimi constante, se impune ori de cîte ori în relațiile care definesc procesul de convertire apar funcții neliniare și deci există pericolul de modificare a frecvenței.

Traductorul electrostatic. După cum s-a arătat, traductorul electrostatic este de tipul polarizat. Pornind de la faptul cunoscut că energia W, produsă într-un condensator avînd capacitatea C, sub acțiunea unui potențial e, este dată de expresia

$$W = \frac{1}{2} Ce^2, \tag{3.10}$$

Scanned with OKEN Scanner

valoarea forței rezultante F dintre cele două armături ale condensatorului se obține prin diferențierea relației (3.10)

$$F = \frac{1}{2} e^2 \frac{dC}{dx}, \tag{3.11}$$

în care s-a notat cu x distanța dintre cele două armături (fig. 3.5) (se știe că energia W este integrala liniară a forței în raport cu distanța, considerată ca variabilă). Cunoscînd că

$$C = \frac{\varepsilon S}{X}, \tag{3.12}$$

unde: S este suprafața armăturilor;

$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$ — constanta dielectrică;

X — distanța mijlocie între armături

și notînd cu U tensiunea de polarizare, relația (3.11) se poate pune sub forma

$$F = \frac{1}{2} (U + e)^2 \frac{\varepsilon S}{X^2}. \tag{3.13}$$

Neglijînd termenii de ordin superior, rezultă:

$$F = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon S}{X^2} (U^2 + 2Ue). \tag{3.14}$$

Se observă că forța rezultantă F între cele două armături se compune dintr-o parte constantă

$$F_c = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon S}{X^2} U^2 \tag{3.15}$$

și o parte variabilă

$$F_v = \frac{Ue\,\varepsilon S}{X^2}. \tag{3.16}$$

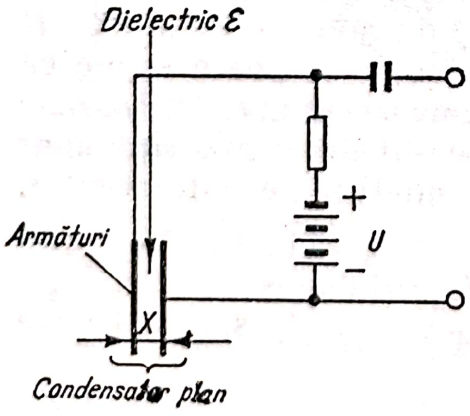


Fig. 3.5. Traductor electrostatic.

Relația (3.16) arată că prin polarizare se obține, ca și în cazul traductorului electromagnetic, o relație liniară între F și e, fenomenul de transducție neproducînd în acest fel modificarea frecvenței.

Mai trebuie precizat că polarizarea este necesară, oricare ar fi sensul transducției, adică atît în cazul în care se transformă energia electrică în energie mecanică, cît și în cazul cînd se transformă energia mecanică în energie electrică.

Traductorul piezoelectric se prezintă sub forma unui condensator, cu deosebirea că dielectricul este un material electrostrictiv, ca, de exemplu: sarea de Rochelle, fosfatul de amoniu, sulfatul de litiu sau titanatul de bariu.

În legătură cu traductoarele, este necesar să se mai precizeze ceea ce se înțelege prin coeficient de transfer. Această noțiune frecvent utilizată în electroacustică poate fi definită (așa cum rezultă de altfel și din documentul CEI 29 B 4 din anul 1968) ca raportul dintre o cantitate specificată, cum ar fi presiunea acustică, tensiunea sau curentul (de la ieșirea unui traductor), față de cantitatea corespunzătoare de asemenea specificată și considerată la intrarea traductorului.

Coeficientul de transfer poate avea dimensiuni fizice și reprezintă denumirea generală sub care sînt cunoscuți termeni ca: sensibilitate, răspuns, cîștig etc.

3.3.2. *Microfoane*

Microfoanele sînt traductoare electroacustice cu rolul de a transforma energia acustică în energie electrică în condițiile menținerii, pentru semnalul electric, a unor indici calitativi asemănători cu cei ai semnalului acustic incident. Din această definiție rezultă că, teoretic, numărul de tipuri de microfoane este egal cu cel al tipurilor de traductoare. Practic, însă, numărul de tipuri uzuale de microfoane este destul de restrîns, cel mai des întîlnite fiind microfoanele electrodinamice, condensator și piezoelectrice.

În capitolul de față vor fi descrise principalele tipuri de microfoane, insistîndu-se totodată asupra unor condiții deosebite de captare a sunetului, care pot influența considerabil calitatea programului sonor și care, deci, trebuie să stea în atenția personalului tehnic care exploatează instalația de sonorizare.

Așa cum s-a arătat mai înainte, o condiție esențială pe care trebuie s-o îndeplinească microfonul este aceea de a realiza procesul transducției fără deformări sensibile ale semnalului acustic. Realizarea în practică a acestui deziderat este posibilă numai prin alegerea judicioasă a tipului de microfon, astfel încît acesta, prin caracteristicile sale tehnice, să corespundă integral scopului pentru care urmează a fi uti-

Scanned with OKEN Scanner

lizat. După Beranek, la alegerea unui anumit tip de microfon trebuie să se țină seamă de trei categorii de factori, și anume de:

— caracteristicile tehnice ale microfoanelor;
— proprietățile cîmpului acustic;
— condițiile generale în care se face captarea sunetului.

Principalele caracteristici tehnice ale microfoanelor sînt cele cunoscute și anume: sensibilitatea, caracteristicile de frecvență și de directivitate, atenuarea față-spate și nivelul de zgomot propriu. Aceste noțiuni sînt explicitate în STAS 7773-67: „Microfoane — Clasificare și terminologie".

Un microfon poate fi ales și utilizat în mod corespunzător numai dacă se cunosc — cel puțin — toate aceste caracteristici. În plus, este necesar să se țină seamă de proprietățile cîmpului acustic (v.cap.1) și de condițiile în care se face captarea sunetului. Aceste condiții influențează în mod negativ — și nu de puține ori — calitatea tehnică a sonorizării. Nivelul de zgomot ambiant, umiditatea, temperatura, vitezvîntului, presiunea atmosferică, dimensiunile microfonului, existența unor cîmpuri electrice și magnetice exterioare, toate laolaltă constituia factori de care trebuie să se țină seamă la captarea sunetului. Impore tant este, de asemenea, să se cunoască și principiul funcționării microfoanelor. Din acest punct de vedere — al principiului de funcționare — se deosebesc următoarele categorii de microfoane:

— microfoane cu presiune;
— microfoane cu gradient de presiune;
— microfoane combinate.

Bineînțeles, că se mai pot face și alte clasificări, avînd drept criterii proprietățile directive (microfoane omnidirecționale, unidirecționale și bidirecționale), modul de utilizare (de proximitate, antizgomot, de contact, sondă etc.) sau construcția (cu cărbune, electrostatice, electrodinamice etc.).

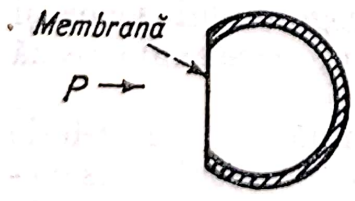


Fig. 3.6. Principiul de funcționare al unui microfon cu presiune.

Microfoanele cu presiune. Acest tip de microfon este alcătuit, în principiu, dintr-o cavitate închisă, unul din pereții cavității fiind format dintr-o diafragmă asupra căreia acționează unda acustică incidentă (fig.3.6).

Mișcarea diafragmei este rezultatul acțiunii unei forțe proporționale și în fază cu presiunea acustică p. Admițînd că dimensiunile acesteia sînt mai mici decît lungimea de undă a sune-

tului incident, rezultă teoretic, că forța care acționează asupra sa este independentă de frecvență. Practic această independență se obține numai la frecvențe mai mici de 1 000 Hz.

Microfoanele cu gradient de presiune. Ca microfon cu gradient de presiune este considerat acel microfon care este sensibil la diferențele de presiune existente între două puncte foarte apropiate unul de celălalt și situate într-un cîmp acustic. Unda acustică incidentă lovește diafragma microfonului pe cele două fețe ale sale, iar forța rezultantă este proporțională cu diferența presiunilor acustice aplicate (fig. 3.7). Relația matematică care arată dependența dintre forță și presiune este:

$$F = (p_1 - p_2)S. \tag{3.17}$$

Sau, înlocuind pe p_1 și p_2 se obține:

$$F = -S\frac{dp}{dx}d\cos\theta. \tag{3.18}$$

Rezultă din relația (3.18) că această forță este proporțională cu suprafața diafragmei, cu derivata presiunii acustice, cu distanța medie de ocolire și cu cosinusul unghiului de incidență.

Deoarece forța este proporțională cu derivata funcției prin care se exprimă presiunea acustică, iar gradientul unei funcții este conceput ca o diferențială spațială a acesteia, aceste microfoane au fost denumite cu gradient de presiune.

Caracteristica de directivitate a unui astfel de microfon este prezentată în fig. 3.8.

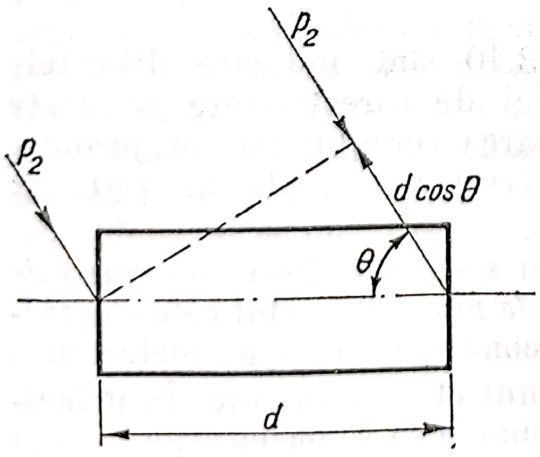


Fig. 3.7. Principiul de funcționare al unui microfon cu gradient de presiune.

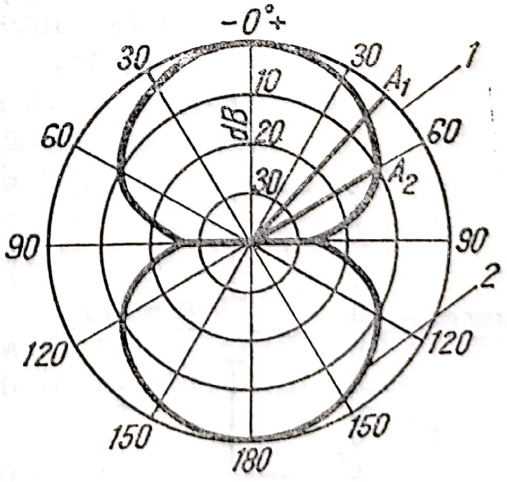


Fig. 3.8. Caracteristici de directivitate:

1 — pentru microfoane cu presiune; *2* — pentru microfoane cu gradient de presiune.

Microfoane combinate. Un microfon combinat este alcătuit, în principiu, din două microfoane, unul cu presiune, iar celălalt cu gradient de presiune, asociate în aceeași unitate constructivă.

După cum se observă în fig.3.9, acest microfon este format dintr-o cavitate neînchisă în spate (sau închisă parțial). Important la aceste tipuri de microfoane este faptul că se poate obține o varietate mare de caracteristici de directivitate, foarte avantajoase pentru diferitele cazuri de captare a sunetului, care se ivesc în practică.

Această mare diversitate a formelor caracteristicilor de directivitate se explică prin aceea că se pot doza după necesități contribuțiile celor două elemente componente. Într-adevăr, din însumarea ecuațiilor în coordonate polare pentru caracteristicile de directivitate ale celor două tipuri de microfoane (cerc și cosinusoidă) se găsește:

$$F(\theta) = OA_1 + OA_2 \cos\theta, \tag{3.19}$$

în care OA_1 este raza cercului, iar OA_2 — raza vectoare corespunzătoare punctului de pe cosinusoidă (fig. 3.8).

Caracteristica de directivitate corespunzătoare este

$$D(\theta) = \frac{F(\theta)}{F(0)} = \frac{OA_1 + OA_2 \cos\theta}{OA_1 + OA_2}. \tag{3.20}$$

sau, notînd $a = \frac{OA_2}{OA_1}$, se obține:

$$D(\theta) = \frac{1 + a\cos\theta}{1 + a}. \tag{3.21}$$

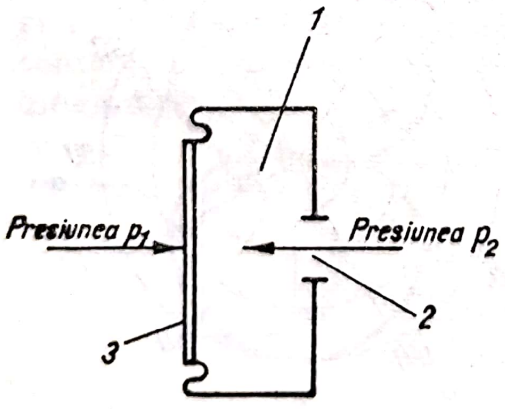


Fig. 3.9. Microfon combinat:
1 — volum de aer; *2* — orificiu; *3* — diafragmă.

În fig. 3.10 sînt indicate diferitele caracteristici de directivitate rezultate din combinarea cercului cu cosinusoida, pentru diferite valori ale lui a (0; 1; $\sqrt{3}$; 3; ∞).

Așa cum s-a mai arătat, *tipurile cele mai uzuale de microfoane* sînt cele electrodinamice, condensator și piezoelectrice.

Microfonul electrodinamic. În principiu, funcționarea sa se bazează pe crearea unei tensiuni electromotoare într-un conductor care se deplasează într-un cîmp magnetic.

Scanned with OKEN Scanner

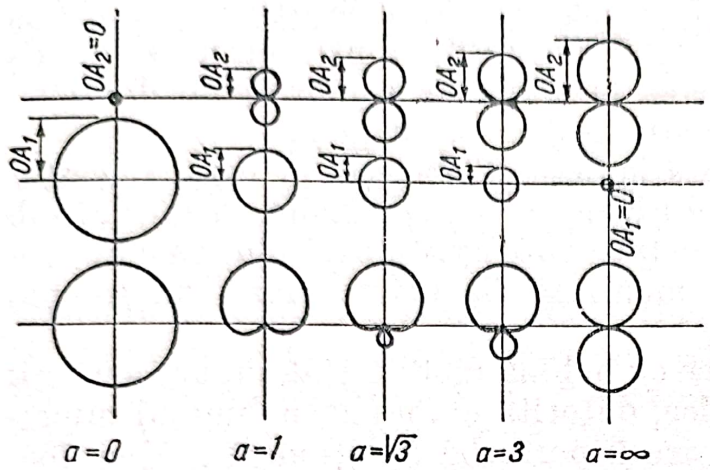


Fig. 3.10. Caracteristici de directivitate ale microfoanelor combinate, trasate pentru diferite valori ale raportului $a = \frac{OA_2}{OA_1}$.

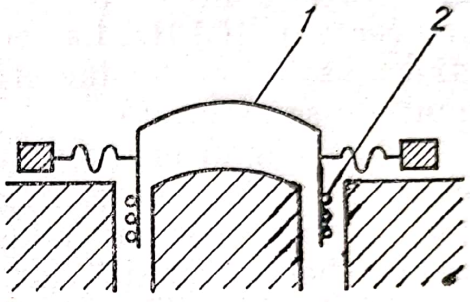


Fig. 3.11. Microfon electrodinamic cu bobină mobilă:
1 — diafragmă; *2* — bobină mobilă.

Se disting două variante constructive, diferite ca principiu: una în care conductorul mobil are forma unei bobine — și microfonul se numește electrodinamic cu bobină mobilă și alta în care conductorul mobil are forma unei benzi și microfonul se numește electrodinamic cu bandă.

Microfonul electrodinamic cu bobină mobilă. Acest tip de microfon este alcătuit dintr-o diafragmă solidară cu o bobină (fig. 3.11). Ansamblul diafragmă—bobină se deplasează sub influența sunetului incident în cîmpul magnetic radial al unui magnet permanent, care are unul din poli central, iar celălalt, inelar. Tensiunea electromotoare indusă în bobină este calculabilă prin cunoscuta relație $U = Blv$. Deoarece la acest tip de microfoane caracteristica de frecvență prezintă neliniarități supărătoare, datorite rezonanței dintre masa totală a sistemului de suspensie (diafragmă plus bobină) și elasticitatea sistemului de suspensie, se impune introducerea unei amortizări. În felul acesta la bornele microfonului se obțin tensiuni cu amplitudini practic independente de variația frecvenței. Realizarea amortizării este posibilă prin practicarea —în construcția microfonului — a unor tuburi sau fante cu secțiuni foarte mici, prin care este forțat să circule aerul din spatele membranei.

Caracteristicile acestor tipuri de microfoane depind în mare măsură de atenția care se acordă la realizarea lor. Din această cauză ele prezintă variații mari de calitate. Dat fiind faptul că impedanța acestor microfoane este de ordinul zecilor de ohmi, iar tensiunea la bornele de ieşire

de ordinul zecilor de microvolți, se conectează, la ieșirea lor, transformatoare ridicătoare de tensiune (cu rapoarte de transformare de aproximativ 1:10), care permit obținerea în secundar a unor nivele de tensiune cu aproximativ 20 dB mai ridicate decît în primar.

O altă remarcă trebuie făcută în ceea ce privește utilizarea acestor microfoane pentru captarea unor nivele mari de presiune, în special sub frecvența de 100 Hz. La astfel de frecvențe există pericolul ca amplitudinea oscilației conductorului mobil să fie foarte mare, microfonul putîndu-se deteriora.

Microfoanele electrodinamice cu bobină mobilă sînt supuse acțiunii cîmpurilor electrice și magnetice, datorită cărora în bobinajul microfonului apar tensiuni induse, care îi perturbă funcționarea. Microfoanele cu bobină mobilă sînt totuși stabile în funcționare, robuste și sînt puțin influențate de factori atmosferici, ceea ce le recomandă pentru a fi utilizate în cazul sonorizărilor în aer liber.

Microfonul electrodinamic cu bandă. Acesta este de tipul cu gradient de presiune și are drept conductor mobil o bandă care poate îndeplini și rolul de diafragmă. Banda, realizată din metal, este ușoară și subțire, frecvența ei de rezonanță fiind mai mică decît frecvența minimă transmisă. Ea este suspendată între piesele polare ale unui magnet permanent, așa cum se observă în fig. 3.12.

Ca și în cazul microfonului cu bobină mobilă, tensiunea electromotoare este $U = Blv$, în care l este lungimea benzii, iar v—viteza de deplasare a acesteia. Este ușor de observat că lungimea benzii este mult mai mică decît cea a conductorului din cazul precedent și deci și tensiunea U la bornele sale va fi mult mai mică față de cea care apare la bornele unui microfon cu bobină mobilă. De aceea se impune utilizarea unui transformator care, însă, de această dată, va avea un raport de transformare mult mai mare. Este necesar să se menționeze că banda fiind ușoară și subțire, se poate ușor deteriora sub acțiunea unor curenți de aer puternici; de aceea se recomandă ca aceste microfoane să fie folosite pentru sonorizarea încăperilor.

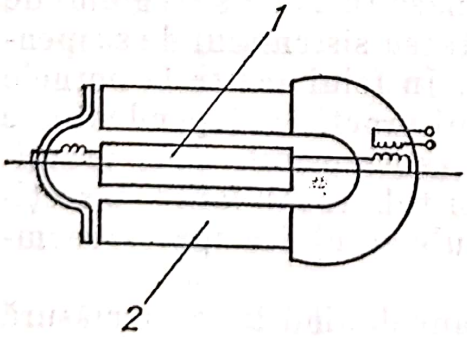


Fig. 3.12. Microfon electrodinamic cu bandă:
1 — bandă; *2* — magnet.

Microfonul condensator. Așa cum se observă în fig. 3.13, acest tip de microfon conține un condensator, la care una din armături este mobilă și constituie diafragma, iar cealaltă armătură

rămîne fixă. Cele două armături sînt conectate la o sursă electrică de curent continuu. Presiunea acustică incidentă deplasează diafragma, modificînd în acest fel capacitatea condensatorului. Variația capacității este proporțională cu presiunea acustică și cu variația distanței dintre armături.

Microfoanele condensator sînt influențate de factorii atmosferici: presiune, temperatură și umiditate. Presiunea atmosferică ambiantă influențează în mai mică măsură caracteristica de frecvență și în măsură mai mare sensibilitatea microfonului. Sub acțiunea ei există tendința de scădere a sensibilității (la presiuni joase). Pentru exemplificare în fig. 3.14 sînt arătate rezultatele unor măsuri făcute cu microfonul Western tip 640 AA. De asemenea, sensibilitatea are tendința să scadă cînd temperatura crește. Mai mult, variații mari de temperatură pot modifica rezistența de izolare și tensiunea mecanică în diafragmă. În unele cazuri aceste transformări sînt ireversibile, antrenînd modificări permanente ale sensibilității, dar nu în toată banda de frecvență transmisă, ci numai în anumite zone ale acesteia, microfonul devenind astfel inutilizabil. În fine, umiditatea poate produce modificări ale sensibilității și ale caracteristicii de frecvență. Dacă un microfon condensator este menținut mult timp într-un mediu ambiant cu un factor mare de umiditate, funcționarea sa devine defectuoasă, el transformîndu-se în multe cazuri într-o sursă de zgomote și pîrîituri. Microfonul își va recăpăta caracteristicile inițiale prin depozitarea într-un loc uscat. În cazul membranelor de duraluminiu se observă și o anumită oxidare

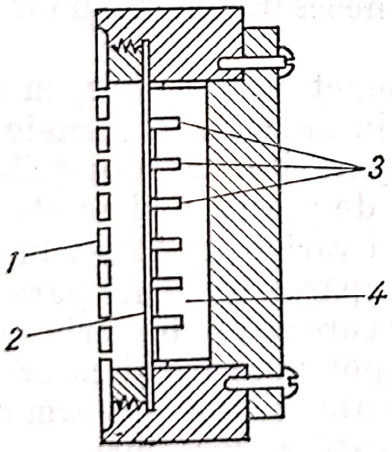


Fig. 3.13. Microfon condensator:

1 — ecran protector; *2* — diafragmă; *3* — dispozitiv de amortizare; *4* — electrod fix.

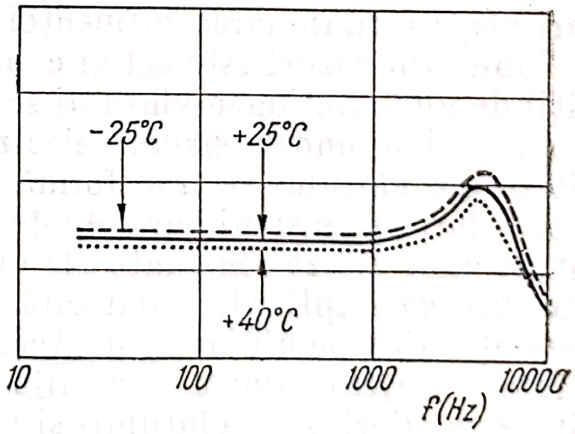


Fig. 3.14. Influența temperaturii ambiante asupra caracteristicii de frecvență a unui microfon condensator.

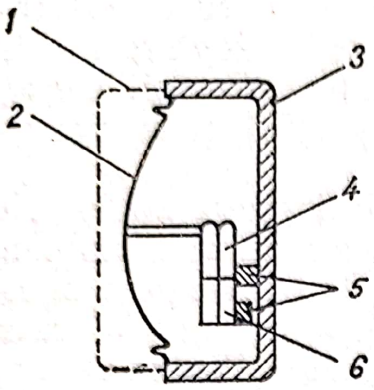


Fig. 3.15. Microfon piezoelectric:
1 — grilă de protecție; *2* — diafragmă; *3* — carcasă; *4* — cristal; *5* — suporturi cristal; *6* — cristal.

în timp a acestora, existînd posibilitatea de scurtcircuitare a microfonului și de scădere netă a sensibilității, în special la frecvențe joase (sub 500 Hz).

Microfonul piezoelectric. Aceste microfoane, cunoscute în practică sub denumirea de microfoane „cu cristal", au la bază un traductor piezoelectric, căruia i se aplică rezultanta presiunii sonore, fie direct, fie prin intermediul unei diafragme (fig. 3.15). Trebuie precizat că în cel de-al doilea caz, caracteristica de frecvență nu mai este liniară, datorită unor rezonanțe mecanice parazite, introduse de diafragmă.

Tensiunea electrică se obține între două foițe metalice, care sînt în contact cu suprafețele bine șlefuite ale cristalului, pe care apar sarcini electrice polarizate.

Și asupra acestor tipuri de microfoane temperatura și umiditatea au o influență nefastă.

Condiții de utilizare a microfoanelor. În paragraful precedent au fost indicate modurile de funcționare a diferitelor microfoane și principiile lor constructive. De asemenea, au fost arătați cîțiva din factorii externi care le pot prejudicia buna funcționare și a căror acțiune nu poate fi totdeauna evitată, impunîndu-se ca necesară luarea unor măsuri pentru diminuarea influenței lor.

Unul din cazuri este cel al captărilor de sunet în aer liber, în condiții de vînt. Acțiunea vîntului se traduce prin apariția la bornele microfonului a unor tensiuni electromotoare parazite. Fluctuațiile de viteză ale vîntului se transformă în variații de presiune și acestea, la rîndul lor, în tensiuni parazite de amplitudini variabile. Chiar în condițiile unor viteze constante ale vîntului pot apărea tensiuni parazite, variabile ca amplitudine, datorită vîrtejurilor care se produc prin însăși prezența microfonului în vînt. Aceleași efecte pot să apară și ca urmare a interferențelor dintre variațiile de presiune ale aerului (ca urmare a vitezelor diferite ale vîntului) și presiunea creată de vîrtejuri.

În cazul vînturilor de tărie slabă și mijlocie (cu viteze pînă la 40—50 km/oră), sistemul care s-a dovedit cel mai eficace pentru protecția microfonului constă din utilizarea unei grile metalice, de formă sferică, acoperită cu țesătură suficient de subțire și ușoară (fig. 3.16). Acest

lucru este explicabil prin aceea că țesătura diminuează efectele acțiunii vîntului, prezentînd în același timp o impedanță acustică mică. Cu sistemul arătat se obține o scădere a nivelului tensiunii parazite cu aproximativ 15—30 dB, valoarea acestei atenuări depinzînd de diametrul grilei (reducerea este cu atît mai importantă, cu cît diametrul este mai mare).

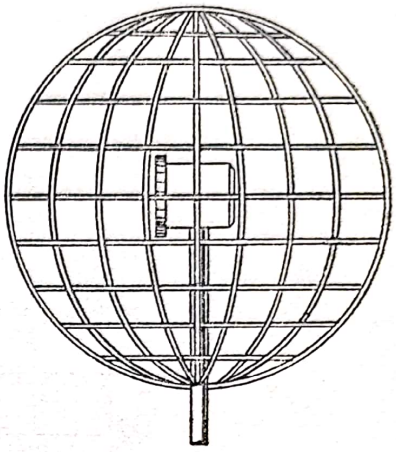


Fig. 3.16. Ecran de vînt pentru microfoane.

În fig. 3.17 sînt indicate rezultatele unor măsurări ale nivelului de zgomot în funcție de viteza vîntului pentru diferite diametre ale ecranelor făcute asupra unui microfon neprevăzut cu ecran de vînt, precum și asupra altora prevăzute cu ecrane de vînt de diferite diametre: 120 mm, 240 mm și 480 mm. Se observă că pentru viteza de 35 km/oră, mărind diametrul de la 120 mm la 240 mm, se reduce nivelul de zgomot cu 5 dB. Pentru un diametru de 480 mm nivelul de zgomot este redus cu 8 dB.

În cazul vînturilor puternice, cînd viteza depășește 50 km/oră, este necesar să se ia precauții cu totul speciale. Astfel se recomandă utilizarea unor ecrane de vînt cu forme aerodinamice pentru a se reduce la minimum vîrtejurile și orientarea în limita posibilităților a ecranelor în direcția vîntului.

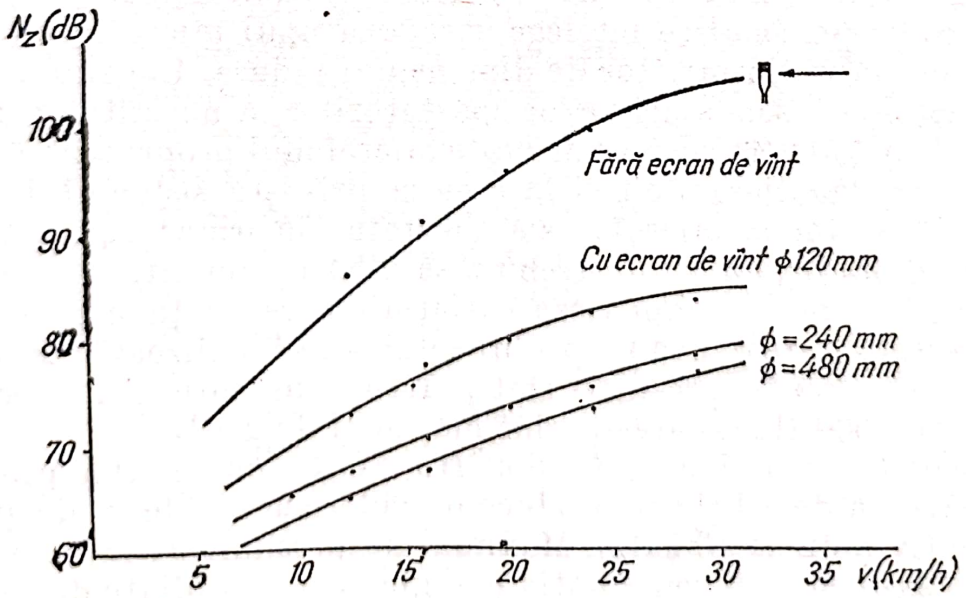


Fig. 3.17. Influența dimensiunilor ecranelor asupra micșorării nivelului de zgomot provocat de vînt.

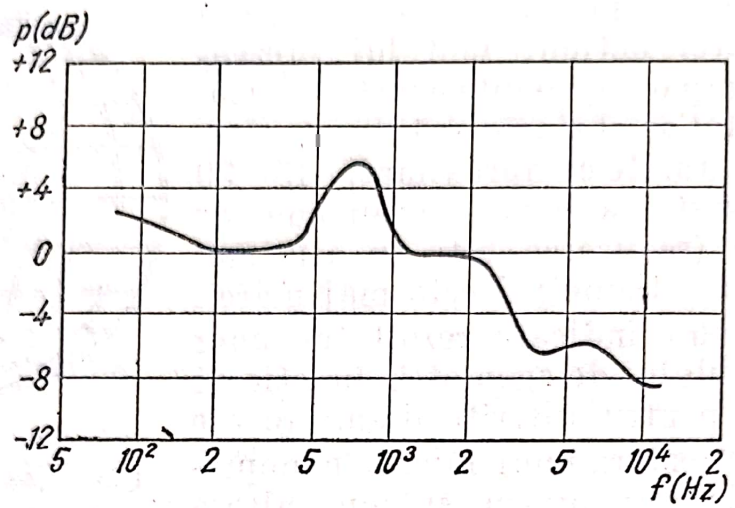


Fig. 3.18. Variația presiunii acustice în funcție de frecvență, măsurată în regiunea pieptului unei persoane care vorbește.

O altă împrejurare, în care captarea sunetului este dificil de realizat, este aceea în care sursa sonoră este mobilă. Este cazul transmiterii prin instalațiile de sonorizare a unor piese de teatru sau a unor spectacole de varietăți — genuri cu multă mișcare scenică — pentru care sistemul clasic de captare cu microfoane suspendate sau fixate pe stative nu mai dă satisfacție. Pentru asemenea situații, în ultimii ani se utilizează, din ce în ce mai frecvent, așa-numitele „microfoane personale". Prin microfon personal se înțelege asocierea unui microfon cu însușiri speciale, cu un radioemițător de dimensiuni reduse. Utilizarea acestui tip de microfon, ascuns privirilor spectatorilor, a necesitat rezolvarea unor probleme, atît în ceea ce privește microfonul propriu-zis (denumit de multe ori „lavalieră") cît și în ceea ce privește sistemul de emisie-recepție. Referitor la microfon s-a constatat, în urma unor măsurări și probe de laborator, că acesta trebuie să aibă o anumită caracteristică de frecvență, care să compenseze variația cu frecvența a presiunii sonore, măsurată în regiunea pieptului celui care-l utilizează. În fig. 3.18 se observă că valorile presiunii sînt practic constante între frecvențele de 80 Hz și 4 000 Hz (abaterile sînt mai mici de 2 dB).

În jurul frecvenței de 700—800 Hz există un maxim pronunțat. După frecvența de 4 kHz se produce o scădere a nivelului de presiune (aproximativ 8 dB la 10 kHz). Maximul de presiune de la frecvența de 700 Hz se explică prin contribuția energiei sonore radiate de cavitatea toracică. Scăderea nivelului de presiune după frecvența de 4kHz se datorește, pe de o parte, formei caracteristicii de directivitate a orga-

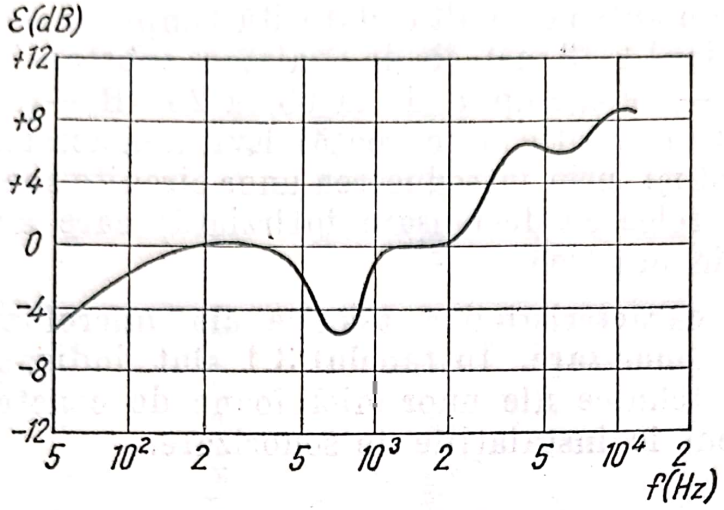


Fig. 3.19. Caracteristica de frecvență (teoretică) a unui microfon „lavalieră".

nului vocal, iar pe de altă parte absorbției pe care o prezintă îmbrăcămintea. Fiind cunoscute rezultatele acestor măsurări, s-a putut trasa caracteristica de frecvență teoretică pe care ar trebui s-o prezinte un astfel de microfon (fig. 3.19). Este important de reținut, în urma celor arătate, că nu oricare microfon poate fi utilizat ca microfon lavalieră. În plus, utilizarea microfoanelor lavalieră implică luarea de măsuri în scopul evitării introducerii unor perturbații în funcționarea lor. Astfel, se impune reducerea nivelului de zgomot cauzat de frecarea microfonului de îmbrăcămintea celui care-l poartă. Acest lucru poate fi rezolvat prin realizarea unor microfoane cu suprafețe exterioare netede și fără muchii, precum și prin introducerea lor în locașuri special confecționate în hainele artiștilor sau prezentatorilor de programe. De asemenea, pot apărea — în cazul unei îmbrăcăminți realizate din fire sintetice — unele descărcări de electricitate statică. Pentru evitarea acestor descărcări se impregnează materialul, din care sînt confecționate costumele actorilor, cu un material special, netoxic și neinflamabil.

Probleme dificile de rezolvat — ținînd seamă de înalta calitate a unor instalații de sonorizare — apar și la transmisia fără fir a modulației. Nenumăratele obstacole sau suprafețe metalice reflectante, care se găsesc pe scenele teatrelor, cauzează perturbații în funcționarea unor astfel de sisteme. Remedierea situației este posibilă prin utilizarea sistemului de recepție cu „diversitate", care permite alegerea din semnalele provenite de la mai multe radioreceptoare pe cel care convine din punctul de vedere al calității. Trebuie arătat că procesul de alegere poate fi însoțit, fie de unele zgomote parazite (pocnituri), ca în cazul comutării

automate de pe o antenă pe alta (datorită timpului necesar comutării care este de ordinul 1—3 ms), fie de o mișcare substanțială a raportului semnal/zgomot — de exemplu, de la 60 la 26 dB —(cînd se lucrează cu receptoare cu modulație în frecvență). Evitarea acestor inconveniente este posibilă, totuși, prin introducerea unor circuite speciale de alegere (de exemplu cu relee cu declanșare întîrziată) care au dat rezultate satisfăcătoare în practică.

Valori ale caracteristicilor tehnice ale microfoanelor utilizate în instalații de sonorizare. În tabelul 3.1 sînt indicate, comparativ, caracteristicile tehnice ale unor microfoane de construcție modernă, utilizate frecvent în instalațiile de sonorizare.

3.3.3. *Magnetofonul*

Magnetofonul reprezintă una din sursele de program frecvent utilizată în instalațiile de sonorizare. În componența sa intră mecanismele de deplasare a benzii, elementele de amplificare și corecție electronică a semnalului, precum și dispozitivele pentru înregistrare (magnetscriptorul), pentru redare (magnetlectorul) și pentru ștergere (demagnetizorul). Dispunerea generală — de principiu — a pieselor, este arătată în fig. 3.20.

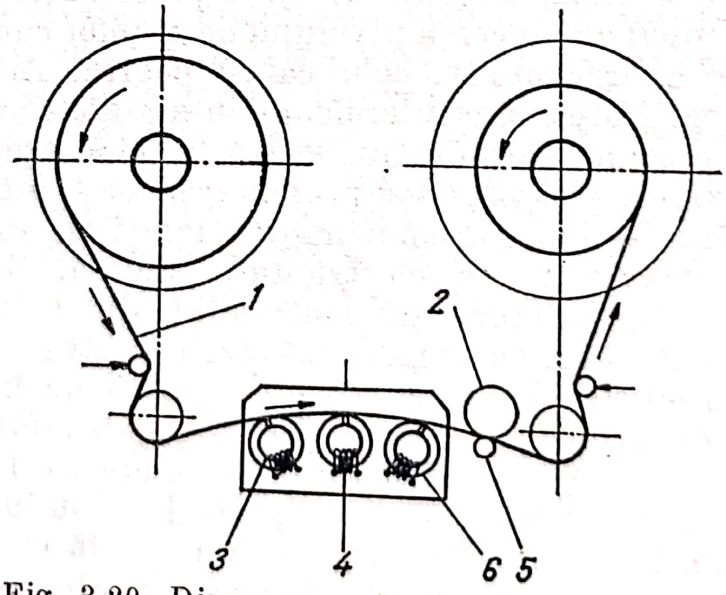


Fig. 3.20. Dispunerea pieselor componente ale unui magnetofon:
1 — bandă magnetică; *2* — rolă presoare; *3* — demagnetizor; *4* — magnetscriptor; *5* — ax motor; *6* — magnetlector.

Tabelul 3.1

Caracteristici tehnice ale diferitelor tipuri de microfoane

Sistem constructiv	Producătorul	Tipul	Caracteristica de frecvență	Sensibilitatea mV/μb	Impedanța Ω	Tensiunea de zgomot neponderat/ponderat	Limita de presiune maximă μb	Caracteristica de directivitate
Condensator	AKG	C12A	10—20 000 Hz ± 2,5 dB	0,4	50 200	$22\mu V_{ef}$ $0,6\mu V_{ef}$	150	Cerc Cardioidă Opt
Condensator	AKG	C61	10—20 000 Hz ± 2,5 dB	0,6	50; 200	$3,5\mu V_{ef}$ $1,2\mu V_{ef}$		Cerc Cardioidă
Electro-dinamic	AKG	D24	30—20 000 Hz ± 2,5 dB	0,18	200	$0,2\mu V_{ef}$ $0,26\mu V_{ef}$	400	Cardioidă
Electro-dinamic	AKG	D202	20—18 000 Hz ± 2,5 dB	0,18		$0,2\mu V_{ef}$ $0,26\mu V_{ef}$	500	Cardioidă
Condensator	NEUMANN	U 67	30—16 000 Hz ± 2,5 dB	1,5	$\leqslant 200$	$\leqslant 6\mu V$ $\leqslant 1,8\mu V$	400	Cerc Cardioidă Opt
Condensator	NEUMANN	M 269	30—16 000 Hz ± 2,5 dB	1	50	$\leqslant 8\mu V$ $\leqslant 1,5\mu V$	320	Cerc Cardioidă Opt
Condensator	SENNHEI-SER	MKH105	20—20 000 Hz ± 2,5 dB	2	110	$\sim 7\mu V$	300	Cerc
Condensator	SENNHEI-SER	MKH404	40—20 000 Hz ± 2,5 dB	2	110	$\sim 7\mu V$	300	Cardioidă

Scanned with OKEN Scanner

Caracteristici tehnice ale diferitelor

Nr. crt.	Producătorul	Tipul	Viteza de deplasare cm/s	Intrare	Ieşire
1	EMT	Studer C 37	38,1 19,05	Tensiune: 0,7—7 V Impedanţă 15 kΩ simetrică	Tensiune: 0,7—7 V Impedanţă 25 Ω simetrică
2	Philips	Pro°50	76,2 38,1 (19,05)	Tensiune: min. 0,5 V Impedanţă 8—10 kΩ simetrică	Tensiune: max. 8 V Impedanţă <120 Ω simetrică
3	Telefunken	M 10	76,2 (19,05)	Tensiune: 1,55 V Impedanţă ⩾ 5 kΩ simetrică	Tensiune: 1,55 V Impedanţă ⩽ 35 Ω simetrică

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.2

Tipuri uzuale de magnetofoane

Caracteristica de frecvență	Factorul de distorsiuni	Nivelul raportului semnal/zgomot	Fluctuație de viteză
+ 1 p. la — 2 dB (la ambele viteze) În gama 30 Hz — 15 Hz	Amplificatorul 0,1% cu bandă 2%	60 dB $\left(38{,}1 \frac{cm}{s}\right)$ 56 dB $\left(19{,}05 \frac{cm}{s}\right)$ (neponderat) 62 dB $\left(38{,}1 \frac{cm}{s}\right)$ 60 dB $\left(19{,}05 \frac{cm}{s}\right)$ (ponderat)	Maximum 1% pentru ambele viteze
0 p. la — 4 dB $\left(\text{pt. } 38{,}01 \frac{cm}{s}\right)$ în gama 40 — 15 000 Hz 0 p. la 4 dB $\left(\text{pt. } 19{,}05 \frac{cm}{s}\right)$ în gama 40 — 12 000 Hz	Cu bandă 2%	$\geqslant$60 dB $\left(38{,}1 \frac{cm}{s}\right)$ $\geqslant$57 dB $\left(19{,}05 \frac{cm}{s}\right)$ (neponderat) $\geqslant$63 dB $\left(38{,}1 \frac{cm}{s}\right)$ $\geqslant$60 dB $\left(19{,}05 \frac{cm}{s}\right)$ (ponderat)	0,8‰ $\left(76{,}2 \frac{cm}{s}\right)$ 1 ‰ $\left(38{,}1 \frac{cm}{s}\right)$ 1,5‰ $\left(19{,}05 \frac{cm}{s}\right)$
± 2 dB (pt. 76,2 cm/s și 38,1 cm/s) în gama 40 — 15 000 Hz ± 3 dB $\left(\text{pt. } 19{,}05 \frac{cm}{s}\right)$ în gama 40 — 12 000 Hz	Cu bandă $\leqslant$2% la38,1 $\frac{cm}{s}$ $\leqslant$2,5% la10,95 $\frac{cm}{s}$	$\geqslant$57 dB $\left(38{,}1 \frac{cm}{s}\right)$ $\geqslant$55 dB $\left(19{,}05 \frac{cm}{s}\right)$ (neponderat: $\geqslant$58 dB $\left(38{,}1 \frac{cm}{s}\right)$ $\geqslant$54 dB $\left(19{,}05 \frac{cm}{s}\right)$ (ponderat)	<1‰ $\left(76{,}2 \frac{cm}{s}\right)$ <1‰ $\left(38{,}1 \frac{cm}{s}\right)$ <1‰ $\left(19{,}05 \frac{cm}{s}\right)$

Scanned with OKEN Scanner

După destinația lor, magnetofoanele se clasifică în două mari categorii: profesionale și pentru amatori.

Magnetofoanele profesionale, la rîndul lor, se pot împărți în magnetofoane staționare (pentru utilizarea în încăperile de regie tehnică — — în cazul unor instalații de sonorizare fixe) și portabile (pentru instalațiile de sonorizare mobile). Clasificarea după destinație presupune și diferențieri de calitate. Magnetofoanele profesionale oferă calitatea maximă, pe cînd la cele pentru amatori s-a ajuns la un compromis între calitate, cost, consum de bandă, durată de funcționare, simplitate constructivă.

Caracteristicile redării magnetice. Reproducerea semnalului înregistrat este posibilă prin acționarea sistemului de antrenare a benzii și aducerea în contact a acesteia cu circuitul magnetic al unui magnetlector. Deoarece, în general, un magnetlector este asemănător cu un magnetscriptor, la majoritatea aparatelor pentru amatori funcțiile de înregistrare—redare sînt îndeplinite de același dispozitiv. La magnetofoanele profesionale, funcțiile sînt realizate prin dispozitive separate, fapt ce creează două avantaje: controlul imediat al modulației înregistrate, precum și mai buna adaptare și eficacitatea sporită a respectivelor dispozitive. În fig. 3.21 este arătat un magnetlector. Întrefierul acestuia este mai mic decît cel al unui magnetscriptor (de ordinul 10 μ), în timp ce inductanța sa este mai mare (de ordinul 100 mH).

Calitatea magnetofoanelor, precum și posibilitățile lor de utilizare, rezultă din studiul caracteristicilor tehnice. Dintre acestea, mai importante sînt: viteza nominală de antrenare a benzii, factorul de fluctuație de viteză, caracteristica de frecvență, raportul semnal/zgomot, factorul de distorsiuni neliniare, numărul pistelor înregistrate pe bandă, impedanța nominală de ieșire. În tabelul 3.2 sînt indicate valorile uzuale ale fiecăreia din ele.

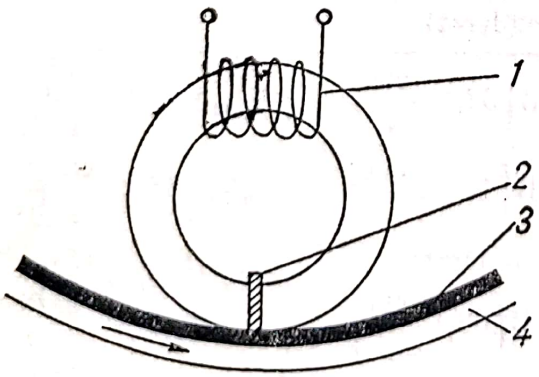


Fig. 3.21. Magnetlector:
1 — înfășurare; *2* — întrefier; *3* — strat feromagnetic; *4* — suport.

Pentru vitezele nominale de antrenare, prin normele Comisiei Electrotehnice Internaționale se admit următoarele valori:

— la magnetofoanele profesionale: 76,2 cm/s; 38,1cm/s; 19,05 cm/s, toate cu toleranța $\pm$ 0,5%;

— la magnetofoanele pentru amatori: 19,05 cm/s; 9,53 cm/s; 4,75 cm/s, toate cu toleranța de $\pm$ 2%.

În ceea ce privește reproducerea

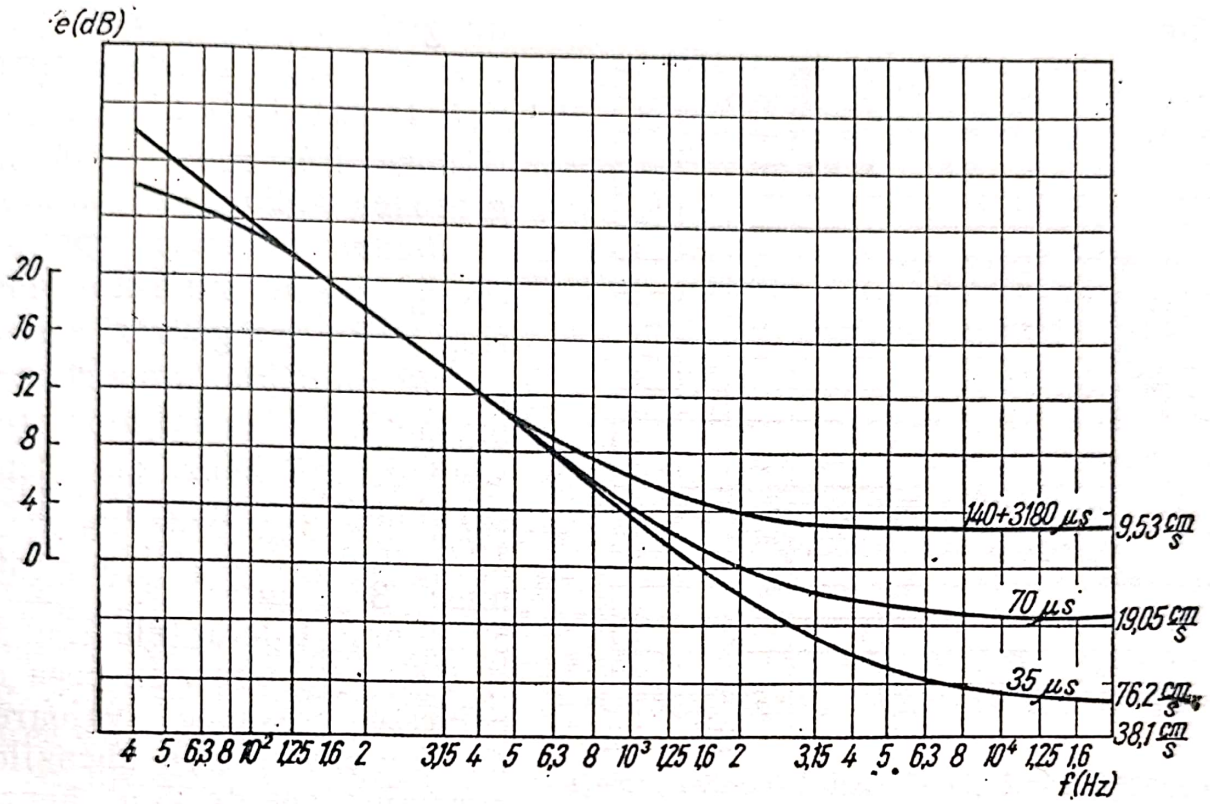


Fig. 3.22. Caracteristicile de frecvență ale magnetofoanelor la redare, pentru diferite viteze de antrenare a benzii:
9,53 cm/s, 19,05 cm/s, 38,1 cm/s și 76,2 cm/s.

sunetului înregistrat pe bandă de magnetofon, normele internaționale precizează că tensiunea electromotoare obținută la bornele unui magnetlector se va aplica unui amplificator, a cărui caracteristică de frecvență este:

— pentru vitezele de 76,2 cm/s și 38,1 cm/s descrescătoare, cînd frecvența crește, asemănătoare cu variația impedanței unui circuit *RC* serie, avînd constanta de timp $t = 35$ μs;

— pentru viteza de 19,05 cm/s, constanta de timp t este de 70 μs (fig. 3.22); în ceea ce privește limitele admisibile asupra neuniformității nivelelor de amplitudini ale semnalelor la redare, aceasta rezultă din fig. 3.23.

Banda magnetică. Banda magnetică comportă un suport din material plastic, acoperit cu o pulbere feromagnetică (oxid de fier — $F_{e_2}O_3$), înglobată într-un material liant. Proprietățile ei fizice — dimensiunile (lățimea și grosimea), proprietățile mecanice (alungirea elastică, alungirea permanentă, sarcina de rupere), rezistența la variațiile de temperatură și umiditate, precum și posibilitatea de conservare în timp, toate acestea au un rol important în procesul de reproducere a sunetului

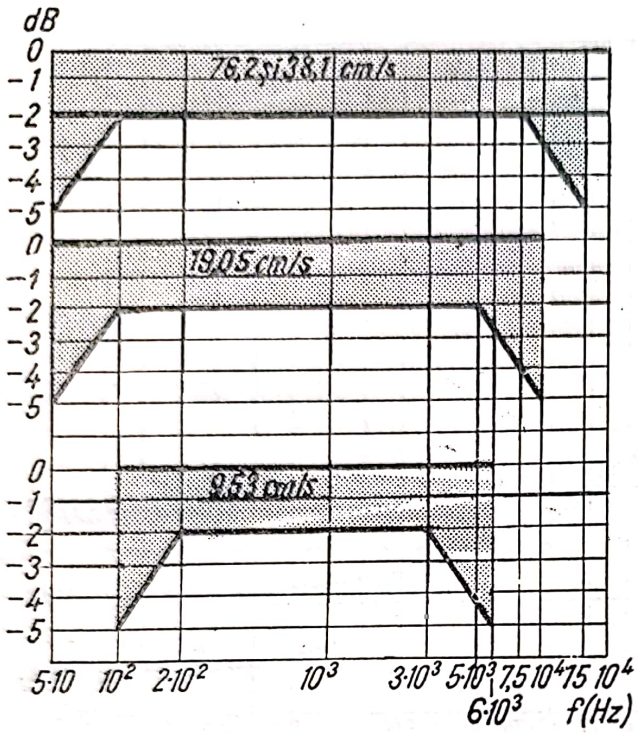


Fig. 3.23. Limitele admisibile pentru variațiile caracteristicii de frecvență la înregistrare-redare, în funcție de viteza de antrenare a benzii.

înregistrat. Astfel, sînt prevăzute pentru banda magnetică următoarele dimensiuni: lățimea 6,25 ± 0,05 mm și grosimea de 25 μ pînă la 55 μ.

Pentru utilizări speciale (înregistrarea anumitor mărimi fizice, înregistrări sonore pe căi multiple, înregistrarea magnetică a imaginilor etc.) se utilizează benzi cu lățimi mai mari: 12,7 mm; 15,9 mm; 19,05 mm; 25,4 mm; 31,75 mm; 38,1 mm; 50,8 mm; 57,15 mm (toleranțele fiind de + 0 și — 0,1 mm). În ceea ce privește grosimea, valoarea de 55 μ corespunde „benzilor normale", cea de 35 μ, benzilor cu „durată lungă" și cea de 25 μ, benzilor cu „durată dublă". Sînt și benzi cu „durată triplă", cu grosimi de aproximativ 20 μ.

Referitor la proprietățile mecanice, au fost precizate valori pentru alungirea elastică (aprox. 1% pentru benzi normale la 20°C), pentru alungirea permanentă (aprox. 0,05%) și pentru rezistența la rupere (aprox. 2,5 kg pentru bandă avînd lățimea de 6,25 mm).

3.3.4. *Disclectoare*

Reproducerea sunetului înregistrat prin procedeul mecanic se face cu ajutorul unor dispozitive denumite disclectoare, în a căror componență intră acul lector, mecanolectorul (suportul acului și traductorul), brațul suport al mecanolectorului, amplificatorul electronic, platanul care susține discul și motorul pentru antrenarea platanului.

Mecanolectorul cuprinde, așa cum s-a mai arătat, suportul acului lector și traductorul care, excitat de forța de reacție a șanțului, transformă energia mecanică în energie electrică.

Elementul intermediar între mecanolector și disc este acul lector. Confecționat la început din oțel, el este astăzi realizat din safir sintetic sau din diamant, creîndu-se în acest fel posibilitatea de a-l utiliza un timp îndelungat (500 pînă la 10 000 reproduceri de discuri), fără a exista pericolul apariției unor deformări apreciabile (cu acul de oțel nu se puteau citi mai mult de 10 fețe de disc). Profilul acului lector trebuie să fie adaptat la profilul șanțului, pentru ca ghidarea sa să poată fi realizată fără un efort special. În fig. 3.24 sînt arătate principalele dimensiuni ale acului lector, ale căror valori optime sînt următoarele: pentru unghiul de deschidere $\alpha_a = 40...\ 50°C$, pentru raza R_a 13...25 μ în cazul discurilor cu șanț îngust și 50—70 μ, la discurile cu șanț lat.

După recomandările Comisiei Electrotehnice Internaționale din anul 1962, forța care se aplică pe suprafața înregistrată nu trebuie să depășească 0,12 N cînd se utilizează raza maximă și 0,03 N pentru raza minimă. Nerespectarea acestor valori provoacă, așa cum se observă în fig. 3.25, fie îndepărtarea acului lector de șanț (R_a mare), fie distrugerea șanțului (R_a mic).

Stabilirea unei forme și a unor dimensiuni convenabile pentru acul lector a fost și rămîne încă o problemă de studiu, căutîndu-se neîncetat soluții care să conducă la micșorarea valorilor așa-numitelor distorsiuni de „contact" (dintre acul lector și pereții șanțului). O reproducere de înaltă calitate s-ar obține în cazul în care acul lector ar avea formă identică (de pană) cu cea a acului inscriptor. O asemenea situație este totuși inacceptabilă, deoarece adoptarea unei astfel de forme ar conduce la uzarea rapidă a discului. Din această cauză s-a ales inițial pentru vîrful acului lector forma conică, raza de curbură a acestuia fiind stabilită la valoarea de 25 μ. Deoarece redarea unui disc stereofonic necesită mai multă finețe în explorarea șanțului, s-au realizat ace lectoare cu raze de curbură mai mici, de ordinul 13 μ. Condiția de compatibilitate implica

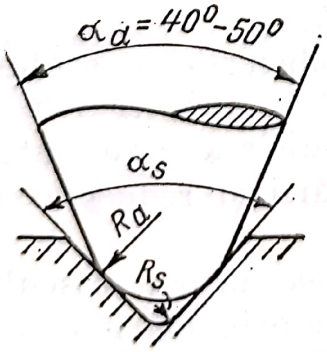


Fig. 3.24. Principalele dimensiuni ale acului lector.

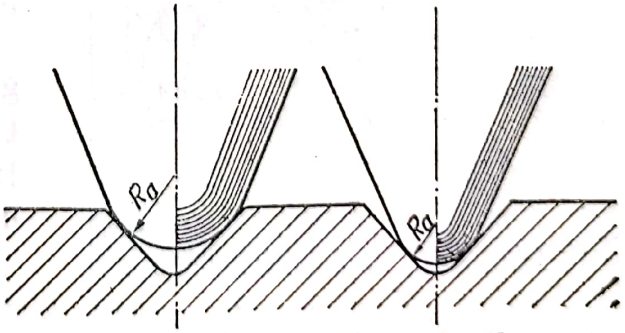


Fig. 3.25. Influența dimensiunilor vîrfului acului lector.

însă reproducerea unor discuri microșanț monofonice cu mecanolectoare stereofonice. Utilizarea unui ac cu raza de curbură de 13 μ pentru reproduceri monofonice prezintă însă inconvenientul că în cursul explorării șanțului acul poate atinge foarte ușor fundul acestuia deteriorîndu-l. Acesta a fost motivul pentru care s-a încercat standardizarea unui vîrf de ac lector „compatibil" cu raza de curbură de 17 μ, dimensiune care convenea atît reproducerilor monofonice cît și celor stereofonice. Prin stabilirea unei raze de curbură convenabile, problema distorsiunilor de contact rămîne totuși nerezolvată. Acest lucru reiese de altfel și din fig. 3.26, în care în șanțul *1* este arătată situația de la înregistrare, iar în șanțul *3*, situația de la redare cu ac lector conic. Săgețile din figură indică punctele de contact dintre ac și pereții șanțului, marcîndu-se în acest fel deformările care se produc prin utilizarea unui astfel de ac. Remedierea situației a constat din realizarea unui ac lector, care prezintă următoarele caracteristici:

— are raza minimă de curbură în punctele de contact cu pereții șanțului;

— are rază de curbură optimă, astfel încît să fie înlăturat pericolul atingerii de către vîrful acului lector a fundului șanțului;

— prezintă simetrie între suprafețele create de cele două raze de curbură.

Un astfel de ac a fost denumit „eliptic" sau „biradial" (fig. 3.26, șanțul *2*) și are deosebitul avantaj că explorarea șanțului se face într-un mod asemănător ca la înregistrare. Dimensiunile acului eliptic se înscriu în limitele de 6 μ × 18 μ și 10 μ × 23 μ, cele mai uzuale fiind 8 μ × 20 μ.

Parametrii tehnici obținuți la reproducerea unui disc cu ac biradial sînt net superiori celor realizați cu acele de tip conic. Astfel, valoarea factorului de distorsiuni neliniare este mai bună cu 20—40 %, iar cel al distorsiunilor de intermodulație, cu 27—43%.

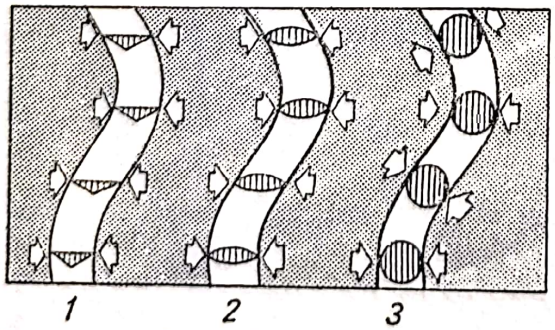


Fig. 3.26. Modul de explorare a șanțului de către un ac eliptic comparativ cu un ac conic.

La reproducerile sunetului înregistrat pe disc, principalele obiective ce trebuie realizate sînt: fidelitatea redării și reducerea uzurii discului.

Reducerea uzurii discului se poate obține prin mărirea sensibilității mecanolectorului, astfel încît acesta să poată lucra fără a

avea o masă proprie mare și, deci, fără a fi nevoie să se exercite presiuni mari asupra discului.

Fidelitatea se obține atît prin luarea unor măsuri de corecție a caracteristicii de frecvență la redare, care să compenseze pe cea de la înregistrare, cît și prin aducerea unor îmbunătățiri constructive elementelor componente ale disclectoarelor, așa cum se va arăta mai departe.

Dispozitive lectoare pentru reproducerile fonografice. Aceste dispozitive, denumite mecanolectoare, sînt alcătuite dintr-un traductor care poate fi de tipul electromagnetic, electrodinamic, piezoelectric etc.

Mecanolectorul de tip electromagnetic, arătat în fig. 3.27, se caracterizează prin aceea că acul lector antrenează o armătură care face să varieze reluctanța circuitului magnetic. Variația de flux este proporțională în fiecare moment cu viteza de deplasare a acului lector.

La *mecanolectorul de tip electrodinamic* (fig. 3.28) tensiunea electromotoare variabilă este produsă de acțiunea unui cîmp magnetic constant asupra unui circuit electric.

În cazul *mecanolectorului de tip piezoelectric*, tensiunea electromotoare apare ca rezultat al deformării lamelor unui cristal din sare

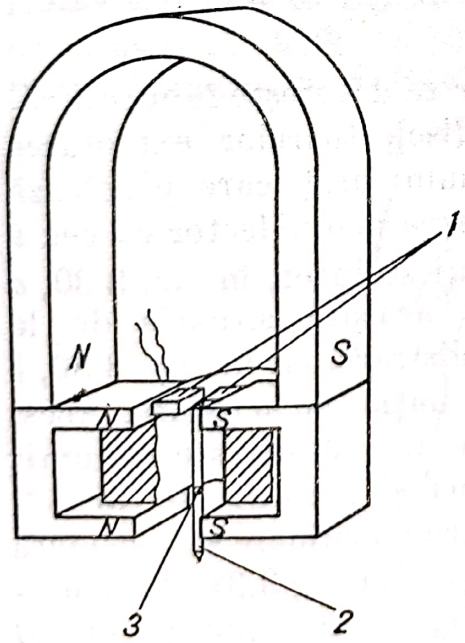


Fig. 3.27. Mecanolector de tip electromagnetic:
1 — piese polare; *2* — ac lector; *3* — axul de oscilație.

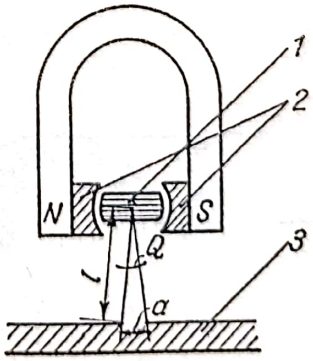


Fig. 3.28. Mecanolector de tip electrodinamic:
1 — cadru mobil; *2* — magnet; *3* — disc.

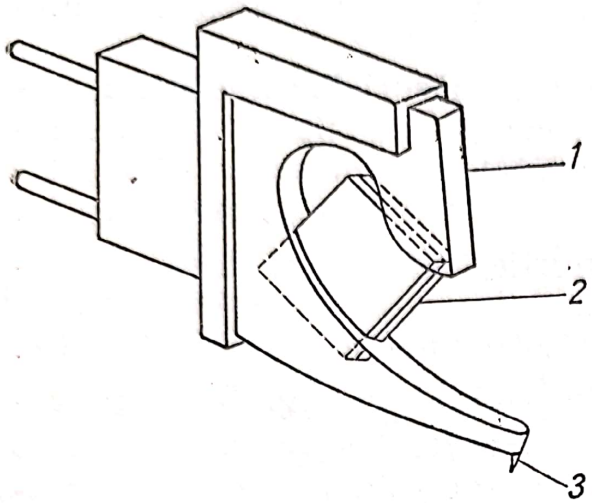


Fig. 3.29. Mecanolector de tip piezoelectric:
1 — piesă de prindere; *2* — cristal; *3* — ac lector.

Seignette, sau din titanat de plumb și de zirconiu. În fig. 3.29 este schițat un astfel de mecanolector.

Factori care produc diminuarea calității reproducerii sunetului înregistrat pe disc. Calitatea reproducerilor poate fi influențată de mai mulți factori, printre care, mai importanți sînt următorii: vibrațiile brațului suport al mecanolectorului, deplasarea neradială a acului lector pe disc, efectul de strîngere produs de îngustarea șanțului, deformarea șanțului, caracteristicile acului lector, fluctuația vitezei de rotație a discului și zgomotul de fond.

Vibrațiile brațului suport al mecanolectorului devin supărătoare în cazul în care se produc în gama frecvențelor audibile. Combaterea lor este posibilă prin micșorarea rigidității brațului, precum și prin amortizarea sa, astfel încît amplitudinile acestor vibrații să nu aibă valori mari.

Deplasarea neradială pe disc a acului lector se datorește faptului că, din motive de simplificare a mecanismului disclectoarelor, explorarea suprafeței discului se face prin intermediul unui braț care pivotează în jurul unei axe. Pentru a se compara mișcarea acului lector cu cea a acului scriptor, în fig. 3.30, *a* este arătată situația de la înregistrare, iar în fig. 3.30, *b* — situația de la redare. Acest efect de redare este denumit uneori și „eroare de pistă". Pentru clarificare se consideră schița din fig.3.31. În această figură s-a notat cu *D* distanța între axul în jurul căruia pivotează brațul suport și axul platanului, cu

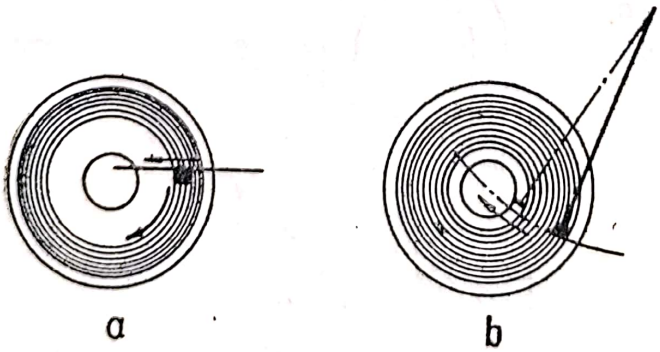


Fig. 3.30. Deplasarea acului scriptor și a acului lector:
a — la înregistrare; *b* — la redare.

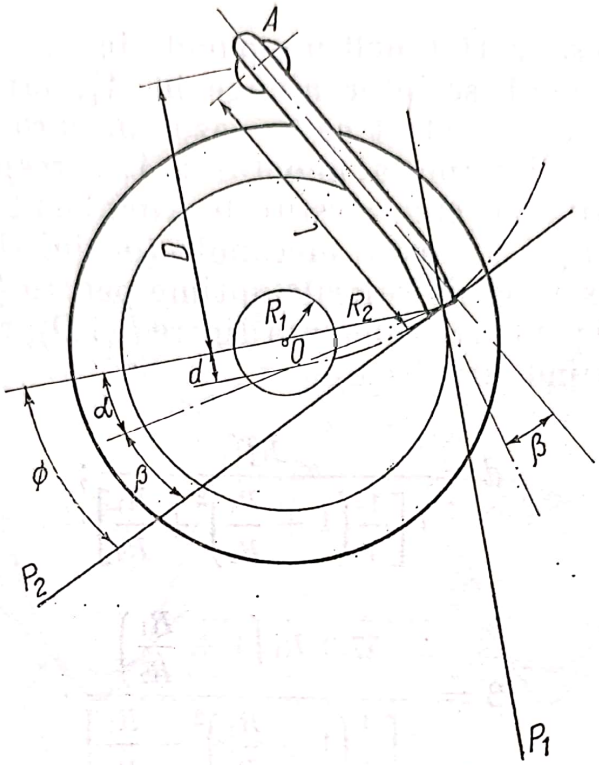


Fig. 3.31. Determinarea corecțiilor ce trebuie aduse formei brațului suport al mecanolectorului.

P_1—planul tangent la axul unui șanț, cu P_2—planul în care au loc mișcările acului lector, R_1—raza interioară a fonogramei, cu R_2—raza sa exterioară și cu Φ—unghiul prin care se definește eroarea de pistă. Presupunînd că pe disc este înregistrată o sinusoidă ca cea din fig. 3.32,

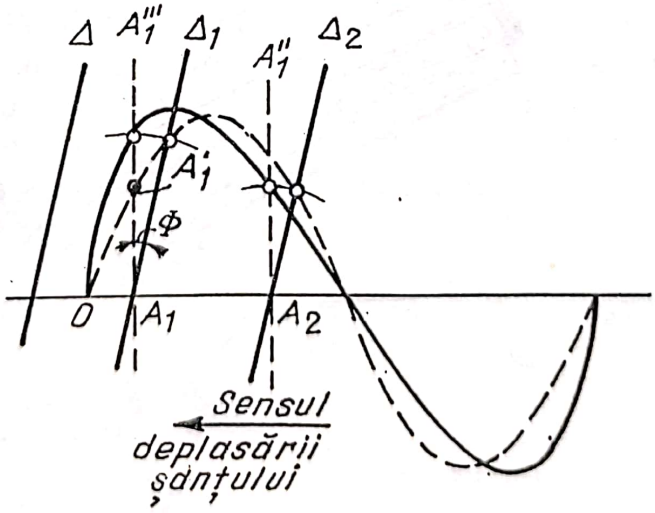


Fig. 3.32. Apariția distorsiunilor la reproducerea sunetului de pe disc, ca urmare a deplasării neradiale a acului lector.

cînd discul se rotește astfel încît un punct de pe șanț situat în O se deplasează în A_1, acul scriptor ajunge în A_1', iar cel lector, în A_1''. Practic, se obține același efect ca în cazul în care acul lector s-ar de plasa pe o sinusoidă deformată, punctului A_1' corespunzîndu-i A_1'''.

O soluție pentru reducerea acestui efect neplăcut constă în realizarea unei curburi la brațul suport al mecanolectorului. Prin studii și încercări de laborator s-au găsit valorile optime pentru β (unghiul curburii brațului suport) și pentru d (diferența dintre l și D), relațiile matematice corespunzătoare fiind următoarele:

$$d = \frac{R_1^2}{l\left[\frac{1}{4}\left(1+\frac{R_1}{R_2}\right)^2+\frac{R_1}{R_2}\right]}; \tag{3.22}$$

$$\beta = \frac{57{,}3\ R_1\left(1+\frac{R_1}{R_2}\right)}{l\left[\frac{1}{4}\left(1+\frac{R_1}{R_2}\right)^2+\frac{R_1}{R_2}\right]}. \tag{3.23}$$

Foarte recent au fost realizate și disclectoare cu așanumitul „braț tangențial“ (fig. 3.33), la care deplasarea echipajului mobil se face prin intermediul unei tije de ghidare care permite ca acul lector să aibă o deplasare asemănătoare cu cea a acului scriptor.

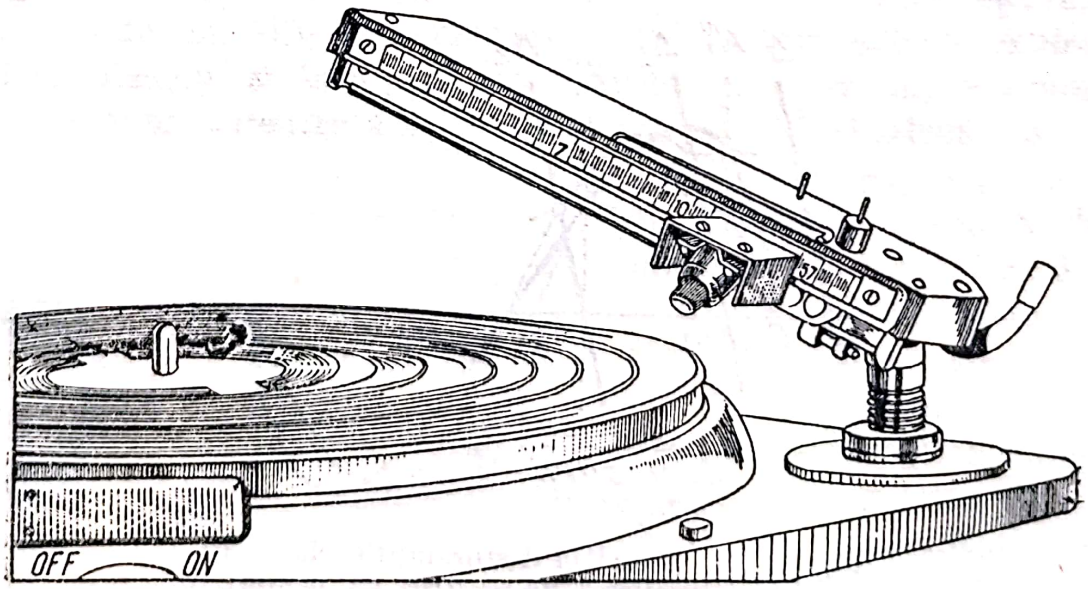


Fig. 3.33. Disclector cu „braț tangențial“.

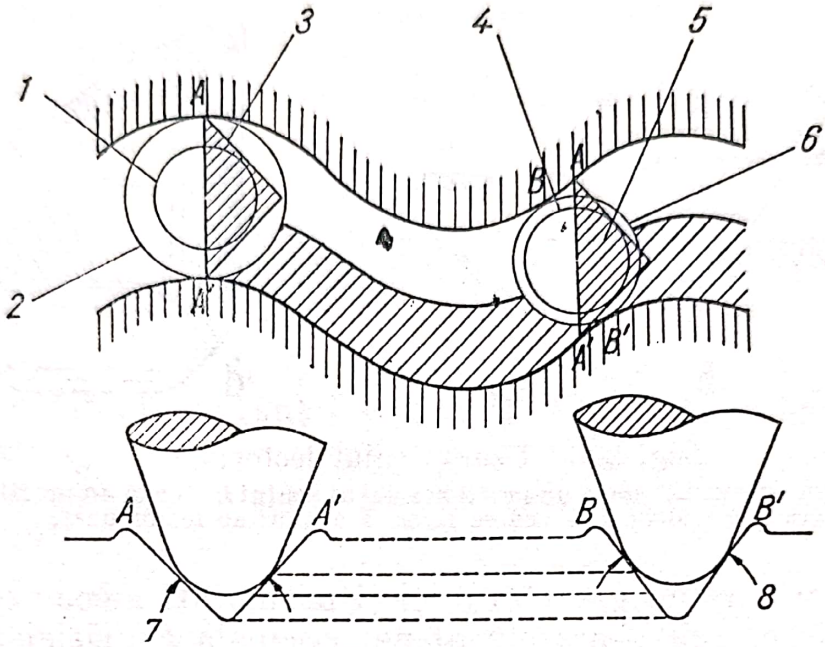


Fig. 3.34. Efectul de strîngere:
1 — diametrul în zona de strîngere; *2* — secțiune transversală prin ac; *3* — secțiune transversală prin șanț; *4* — diametre în zona de strîngere; *5* — secțiune transversală prin șanț; *6* — secțiune transversală prin ac; *7* — zona de strîngere; *8* — zona de strîngere.

Efectul de strîngere reprezintă o altă sursă de apariție a unor distorsiuni la reproducerea discurilor. El apare ca urmare a mișcării verticale a acului lector, rezultată din variația de lărgime a șanțului. Așa cum se observă în fig. 3.34, datorită efectului de strîngere exercitat de pereții șanțului, acul lector are tendința să se ridice, acest lucru permițînd, fie pierderea contactului între ac și șanț (în cazul ridicării mecanolectorului), fie crearea unor presiuni mari (în cazul coborîrii). Îndepărtarea acestui efect neplăcut este posibilă prin dimensionarea corectă a mecanolectoarelor.

Toate cele arătate în cadrul acestui paragraf sînt valabile în ipoteza realizării unui contact punctiform între acul lector și pereții șanțului. În realitate, materialul din care este confecționat discul se deformează ușor, ca urmare a aplicării unei sarcini prin intermediul acului lector. Cînd se suprimă contactul între șanț și ac, pereții șanțului revin la starea inițială, cu condiția ca limita de elasticitate a materialului să nu fi fost depășită. În caz contrar șanțul rămîne deformat sau poate fi chiar distrus. *Deformarea pereților șanțului* are ca efect diminuarea calității sunetului reprodus, caracteristica de frecvență fiind afectată într-o mare măsură. Trebuie totuși precizat că, folosindu-se mecanolectoarele

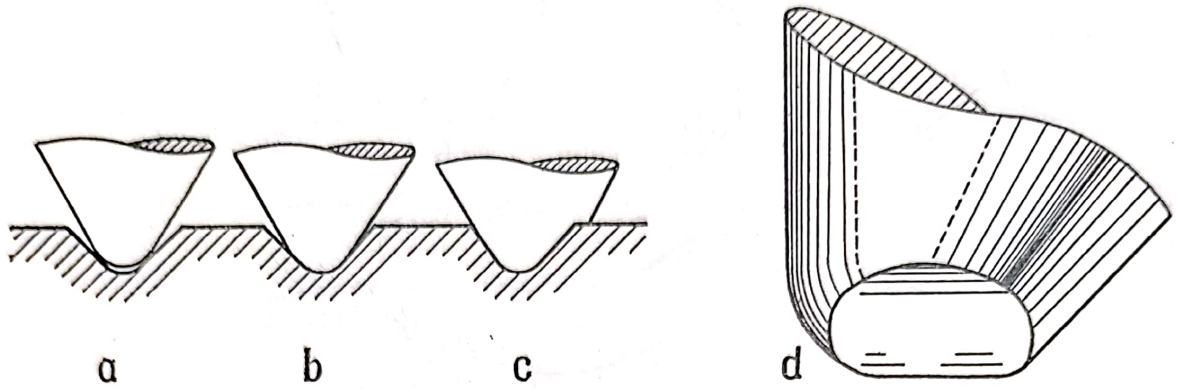


Fig. 3.35. Uzura acului lector:
a, *b*, *c* — trecerea prin uzură, de la un profil normal al acului lector la un profil cu un mare grad de uzură; *d* — vedere laterală a unui ac lector uzat.

de tip modern (care au greutăți mici și capacități mecanice mari) și discurile moderne (cu suprafețe plane) riscurile apariției unor astfel de defecțiuni rămîn foarte mici.

Un rol important în micșorarea calității redării îl are și *uzura acului lector*. În fig. 3.35 se observă trecerea succesivă — datorită unei folosiri îndelungate — de la un profil normal la un altul, care prezintă un grad mare de uzură. De remarcat că uzura se produce în mod inegal, ca urmare a împingerii laterale a acului lector, fapt care permite acestuia să ajungă pînă în fundul șanțului. În acest caz acul nu va mai contribui la reproducerea semnalulni corect înregistrat, ci a unuia deformat. Deformarea acului depinde de mai mulți factori, și anume: de materialul din care este confecționat, de raza vîrfului său, de forța aplicată asupra sa.

Modificări în calitatea reproducerii sonore mai pot apărea datorită *fluctuației de viteză sau descentrării discului*. Ambele pot determina modificarea frecvenței semnalului reprodus, care ajungînd la valori de $3^0/_{00}$ devin sesizabile.

O altă cauză de înrăutățire a calității o constituie *micșorarea raportului semnal/zgomot*. Ea se datorește fie influenței unor cîmpuri perturbatoare asupra mecanolectorului, fie vibrațiilor exterioare care acționează asupra brațului suport și asupra mecanolectorului, fie rugozității pereților (care poate fi sporită de praful ce se depune pe disc ca urmare a atracției electrostatice).

Caracteristica de frecvență la reproducerea discurilor. Această caracteristică trebuie să compenseze caracteristica de frecvență de la înregistrare. Ea rezultă din însumarea a trei curbe, și anume:

— prima, descrescătoare cu frecvența, analogă cu curba de variație a impedanței formate dintr-o capacitate montată în paralel cu o rezistență, avînd constanta de timp t_1;

— a doua, descrescătoare, cînd frecvența crește, analogă curbei de variație a unei impedanțe ce rezultă din înserierea unei capacități cu o rezistență, constanta de timp fiind t_2;

— a treia, crescînd cu frecvența, analogă cu curba de variație a unei admitanțe, care rezultă din înserierea unei capacități și a unei rezistențe, avînd constanta de timp t_3.

Constantele de timp t_1, t_2 și t_3 au următoarele valori:

— pentru discuri cu șanț lat: $t_1 = 50 \cdot 10^{-6}$ s; $t_2 = 450 \cdot 10^{-6}$ s; $t_3 = 3\,180 \cdot 10^{-6}$ s;

— pentru discuri cu șanț îngust: $t_1 = 50 \cdot 10^{-6}$ s; $t_2 = 318 \cdot 10^{-6}$ s; $t_3 = 3\,180 \cdot 10^{-6}$ s.

Caracteristicile de frecvență corespunzătoare celor două categorii de discuri (cu șanț lat și șanț îngust) sînt arătate în fig. 3.36.

Norme privind discurile. (Normele CEI din 1962).

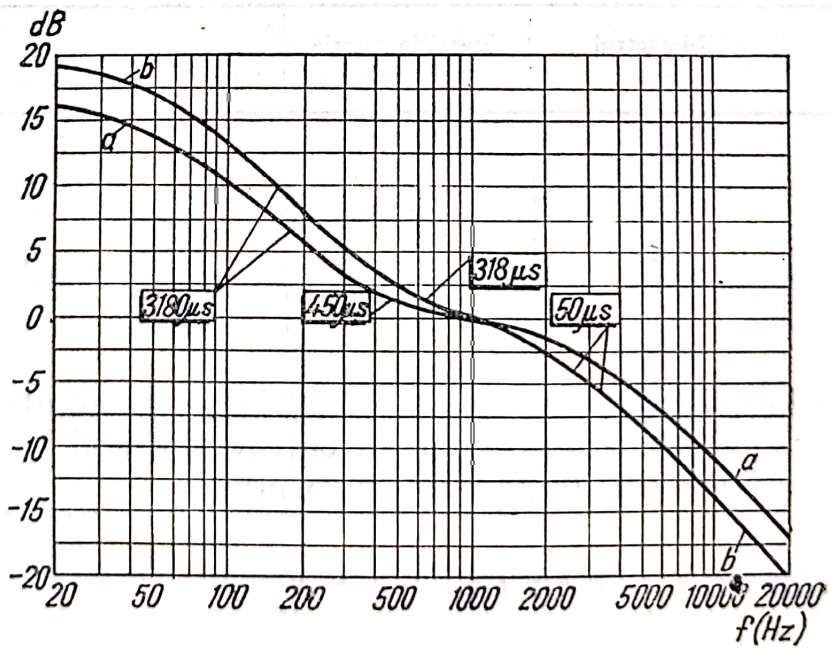


Fig. 3.36. Caracteristica de frecvență la redarea discurilor:
a — discuri cu șanț normal; *b* — discuri cu șanț îngust.

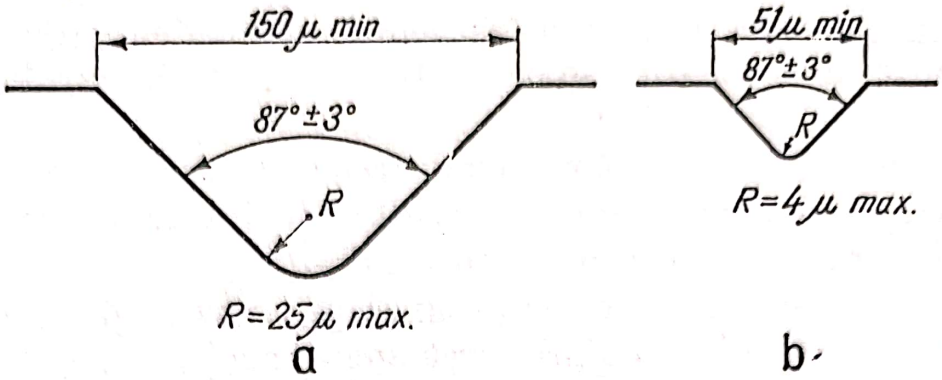


Fig. 3.37. Principalele dimensiuni ale șanțului:
a — șanț normal; *b* — șanț îngust.

Sensul de rotație al discului este cel al acelor unui ceasornic. Discurile sînt realizate astfel, încît mecanolectorul să se deplaseze dinspre periferie spre centru.

Principalele dimensiuni ale șanțului de tip lat și ale celui de tip îngust sînt indicate în fig. 3.37.

Categoriile normalizate de discuri sînt prezentate în tabelul 3.3.

Tabelul 3.3

Categorii normalizate de discuri

Categoria	Diametrul mm	Viteza de rotație rot/min	Tipul de șanț	Monofonic: M Stereofonic: S
I	300	78	Lat	M
II	250	78	Lat	M
III	300	33 1/3	Îngust	M sau S
IV	250	33 1/3	Îngust	M sau S
V	175	33 1/3	Îngust	M sau S
VI	175	45	Îngust	M sau S

Diametrul orificiului central este de 7,24 mm, toleranțele admisibile fiind + 0,09; — 0. Pentru discurile de categoriile V și VI se utilizează și orificii cu diametrul de 38,20 ± 0,05 mm.

3.3.5. *Radioreceptoare*

În numeroase instalații de sonorizare, receptorul este utilizat frecvent ca sursă de program. Este cazul echipamentelor de sonorizare a stadioanelor, a magazinelor, a anumitor săli din casele de cultură etc.

În cadrul acestui capitol nu se vor putea dezvolta problemele de teorie și practică ale radioreceptoarelor, acestea făcînd obiectul multor lucrări de specialitate, ci se vor preciza unele date referitoare la clasificarea și caracteristicile tehnice, date care sînt utile celor care realizează și exploatează instalațiile de sonorizare.

Clasificarea radioreceptoarelor. Criteriile pentru clasificarea radioreceptoarelor sînt multiple. Astfel pot fi luate în considerație: destinația lanțului de radiocomunicații, principiul după care s-a întocmit schema, respectiv după care s-a realizat receptorul, modul de alimentare cu energie electrică, gama de frecvențe în care se lucrează, calitatea recepției și performanțele tehnice.

Dacă se consideră drept criteriu de clasificare destinația lanțului de radiocomunicații, se pot deosebi următoarele categorii de receptoare:

— receptoare de radiodifuziune (cu modulație de amplitudine sau cu modulație de frecvență);

— receptoare de televiziune; receptoare de radiocomunicații (sau de trafic) — utilizate pentru telegrafie, telefonie și transmitere de facsimile;

— receptoare de retranslație (pentru radiorelee);

— receptoare de radiolocație.

S-a arătat mai înainte că principiul după care se întocmește schema constituie un alt criteriu de clasificare, categoriile corespunzătoare de receptoare fiind următoarele:

— receptoare cu simplă detecție (cu cristal de germaniu, de siliciu sau galenă);

— receptoare cu amplificare directă;

— receptoare cu reacție;

— receptoare cu suprareacție;

— receptoare superheterodină.

După modul de alimentare cu energie electrică se pot deosebi:

— receptoare pentru rețeaua de curent alternativ;

— receptoare pentru rețeaua de curent alternativ și continuu;

— receptoare cu alimentare de la baterii sau acumulatoare;

— receptoare cu alimentare universală (baterii, rețea de curent alternativ și continuu);

Scanned with OKEN Scanner

— receptoare cu alimentări speciale (cele montate în autovehicule sau în avioane).

Gama frecvențelor de lucru constituie un alt criteriu de clasificare. Astfel sînt receptoare pentru frecvențe obișnuite (pentru radiodifuziune și radiocomunicații) și receptoare pentru frecvențe ultraînalte.

Receptoarele pentru radiocomunicații lucrează în toată gama de frecvențe cuprinsă între 100 kHz și 30 MHz. Cele pentru radiodifuziune lucrează în gamele:

— gama de unde lungi (kilometrice): 2 000 — 700 m (525 — 1 610 kHz);

— gama de unde medii (hectometrice): 570 — 186 m (6 — 23 MHz);

— gama de unde scurte (decametrice); 50 — 13 m.

În gama undelor scurte, emițătoarele lucrează grupate în următoarele subgame: 6 MHz (50 m); 7,3 MHz (41 m); 10 MHz (30 m); 12 MHz, (25 m); 15,8 MHz (19 m); 18,8 MHz (16 m) și 23,1 MHz (13 m). Intervalul de frecvențe dintre aceste subgame este rezervat radiocomunicațiilor, radionavigației etc.

Frecvențele superioare celei de 30 MHz se numesc frecvențe foarte înalte și corespund undelor ultrascurte, fiind folosite pentru televiziune și radiodifuziune cu modulație în frecvență.

Calitatea audiției și performanțele tehnice permit definirea unor categorii de radioreceptoare care însă sînt mai greu de stabilit, deoarece și criteriile sînt mai complexe. Astfel, în cele mai multe din cazuri sînt prevăzute patru clase, aprecierea calității radioreceptorului făcîndu-se după categoria în care se încadrează performanțele sale tehnice. Astfel, receptoarele cu un număr mic de tuburi electronice sau dispozitive semiconductoare, care pot recepționa un număr mic de stații, fac parte din clasa a IV-a. În clasa a III-a se încadrează receptoarele cu performanțe mai bune, posibilități de utilizare mai mari, dar care se mențin la un preț scăzut. Clasele a II-a și I-a cuprind acele radioreceptoare cu minimum 5 game de lucru în modulație de amplitudine și cu posibilități de recepționare a stațiilor care lucrează cu modulație de frecvență. Caracteristicile lor tehnice sînt superioare celorlalte. În fine, uneori se mai introduce o clasă suplimentară, a receptoarelor de lux, în care sînt prevăzute și comenzi automate, iar performanțele tehnice au valori optime.

Scanned with OKEN Scanner

Caracteristicile tehnice ale radioreceptoarelor. Principalele caracteristici tehnice ale receptoarelor sînt: sensibilitatea, fidelitatea și stabilitatea.

Se înțelege prin sensibilitate, în general, capacitatea unui receptor de a asigura o audiție de intensitate normală, chiar în cazul unor semnale de intrare cu amplitudini mici. Mai precis, sensibilitatea poate fi definită prin valoarea tensiunii electromotoare corespunzătoare unui semnal avînd o modulație de 30% și o frecvență de 400 Hz, care aplicată la intrarea receptorului prin intermediul unei antene standard, produce la ieșire puterea standard. Rezultă de aci că receptorul este cu atît mai sensibil cu cît tensiunea electromotoare este mai mică.

Selectivitatea exprimă capacitatea unui receptor de a separa semnalele de o anumită frecvență purtătoare ale unui emițător, de cele emise de alte emițătoare cu alte frecvențe purtătoare. Ea este determinată de caracteristicile circuitelor oscilante ale receptorului și se apreciază prin curba de selectivitate, care arată de cîte ori trebuie să fie mai mare tensiunea electromotoare a semnalului modulat în amplitudine, cu un grad de modulație de 30% și cu frecvența de 400 Hz, aplicat la intrarea receptorului, pentru ca puterea la ieșire să rămînă egală cu cea standard.

Prin fidelitate se înțelege acea caracteristică a receptorului prin care se precizează dependența amplitudinilor semnalelor de audiofrecvență de la ieșire, de frecvența modulatoare audio a semnalelor de radiofrecvență aplicate la intrarea receptorului, cînd amplitudinea, frecvența și gradul de modulație ale acestora rămîn constante.

Pentru cunoașterea ordinului de mărime al valorilor acestor caracteristici au fost extrase din proiectul de standard de stat datele corespunzătoare radioreceptoarelor de radiodifuziune de calitate (clasa I).

Sensibilitatea, la o putere de ieșire de 50 mW și un raport semnal-zgomot de 20 dB, în gamele UL, UM și US și de 26 dB în gama UUS, are valorile următoare: 50 μV pentru UL,UM și US și 10 μV pentru UUS (valori corespunzătoare la borna de antenă exterioară).

Selectivitatea în cazul unui dezacord de $\pm$ 9 kHz pentru MA și 300 kHz pentru MF este următoarea:

— la receptoarele cu tuburi: mai bună decît 50 dB pentru UL, UM și US și mai bună decît 40 dB pentru UUS;

— la receptoarele cu tranzistoare: mai bună decît 36 dB pentru UL,UM și US și mai bună decît 30 dB pentru UUS.

Scanned with OKEN Scanner

Caracteristica de frecvență a întregului lanț de amplificare (curba fidelității globale) prezintă următoarele valori:

— la radioreceptoarele cu tuburi 63—5 600 Hz (UL, UM, US) 63—14 000 Hz (UUS), cu mențiunea că dacă lipsește gama de MF, valorile rămîn valabile pentru lanțul de audiofrecvență;

— la radioreceptoarele cu tranzistoare: 80—4 000 Hz (UL, UM, US) 80—10 000 Hz (UUS, cu aceeași mențiune ca în cazul receptoarelor cu tuburi).

În afară de caracteristicile precizate mai sus, în standardele de stat, respectiv în normele interne ale uzinelor producătoare de receptoare, se indică valori pentru atenuarea semnalului de frecvență imagine, pentru atenuarea semnalului de frecvență intermediară, pentru eficacitatea reglajului automat al amplificării, precum și pentru parametrii de audiofrecvență.

3.3.6. *Dispozitive de redare a sunetului de pe filmul cinematografic*

Sunetul înregistrat pe film constituie sursa de program sonor în cazul unui spectacol cinematografic. La prezentarea filmului într-o sală de cinematograf imaginile sînt redate sincron cu sunetele.

Sunetele sînt înregistrate fotografic sau magnetic de-a lungul filmului (fig. 3.38) pe o fîșie îngustă și continuă care se numește fonogramă.

Dispozitivele de redare a sunetului de pe filmul cinematografic se clasifică în funcție de natura înregistrării: pentru fonograme fotografice și pentru fonograme magnetice. Traductorul folosit de prima categorie de fonograme este celula fotoelectrică (fotodioda), iar la cea de a doua — magnetlectorul.

Dispozitivul pentru redarea sunetului înregistrat fotografic. Schema redării sunetului de pe fonograma fotografică este prezentată în fig. 3.39. O lampă cu filament incandescent denumită lampă de ton *1* constituie sursa de lumină. Condensorul *2* concentrează lumina și asigură iluminarea uniformă a fantei mecanice *3*. Sistemul optic *4* proiectează pe planul filmului *5* o imagine micșorată a fantei mecanice iluminate. Linia îngustă de lumină care apare pe film se numește *fantă de redare*.

Modularea fluxului luminos se produce prin traversarea fonogramei care se deplasează uniform. Acesta ajungînd pe catodul celulei fotoe-

Scanned with OKEN Scanner

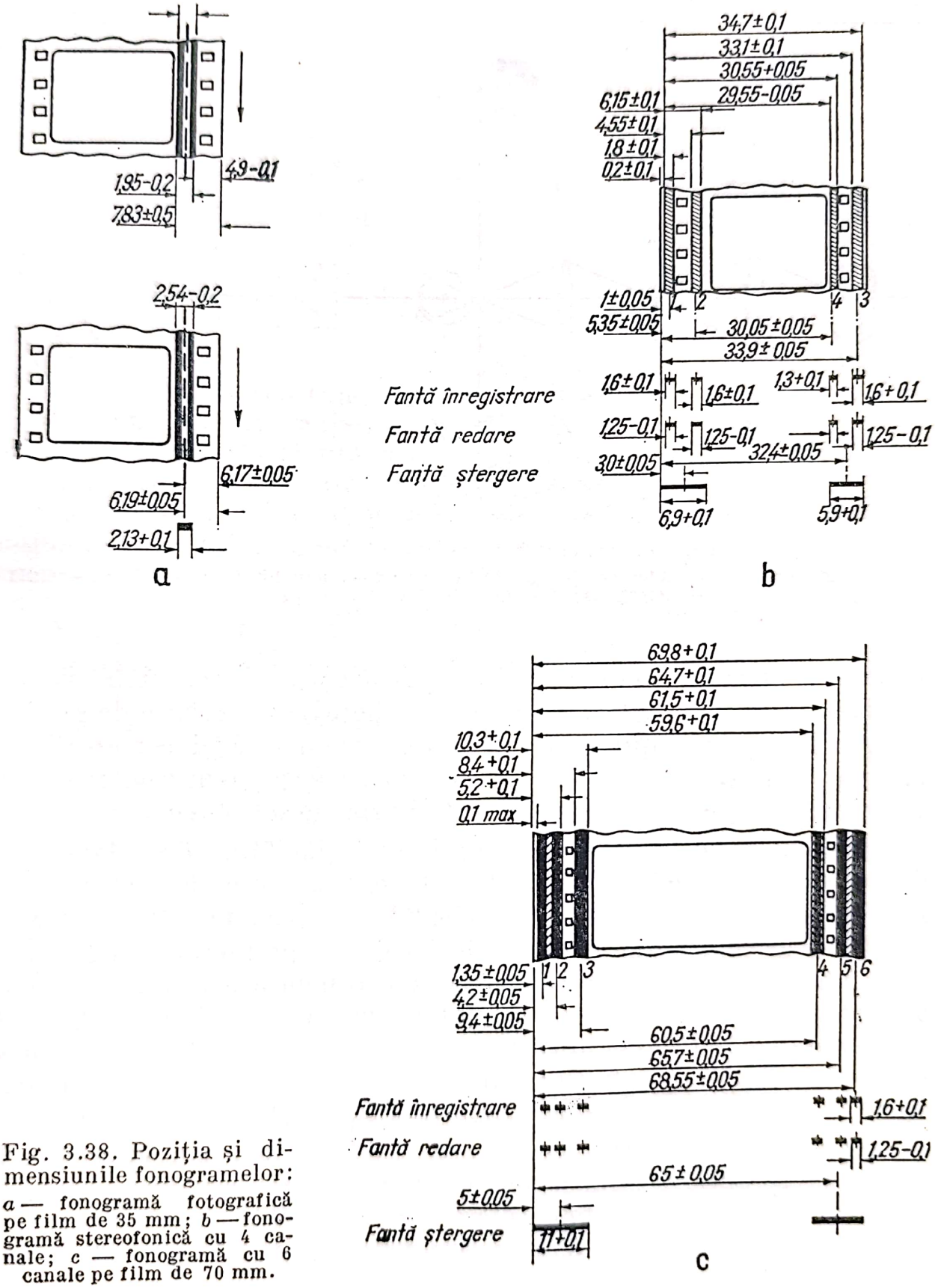


Fig. 3.38. Poziția și dimensiunile fonogramelor:
a — fonogramă fotografică pe film de 35 mm; *b* — fonogramă stereofonică cu 4 canale; *c* — fonogramă cu 6 canale pe film de 70 mm.

Scanned with OKEN Scanner

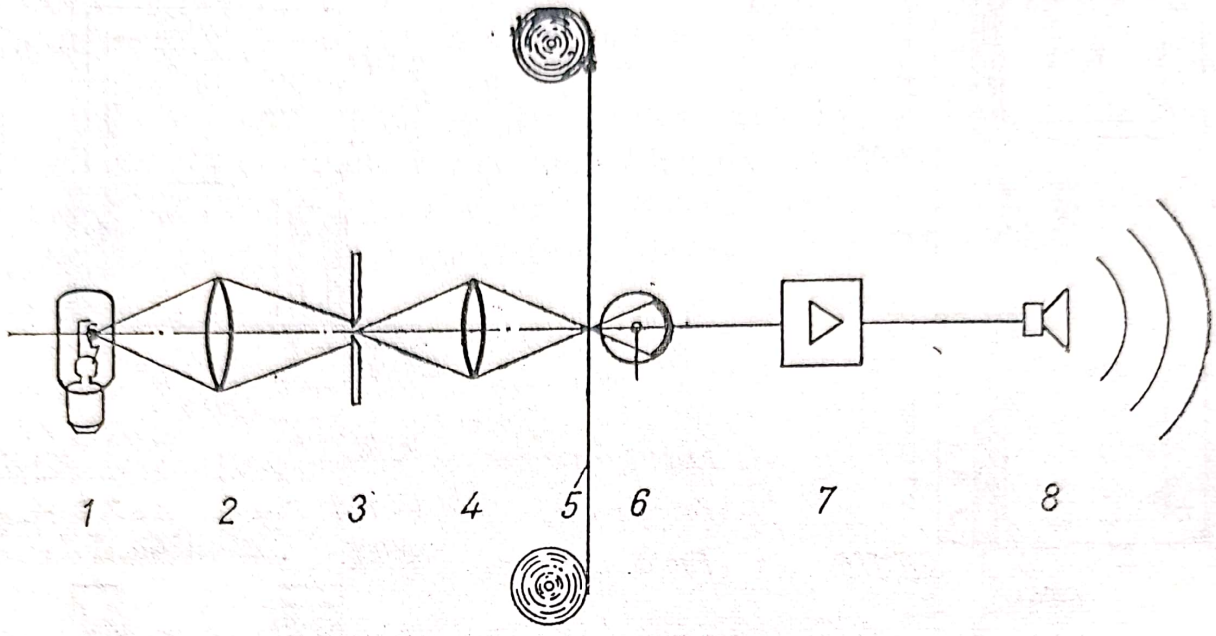


Fig. 3.39. Schema de principiu a redării sunetului de pe filmul cinematografic:
1—lampă de ton; *2*—condensor; *3*—fantă mecanică; *4*—microobiectiv; *5*—film; *6*—celulă fotoelectrică; *7*—amplificator; *8*—difuzor.

lectrice *6*, creează în circuitul ei un curent electric de audiofrecvență, tensiunea electrică corespunzătoare de la bornele rezistenței de sarcină a fotocelulei fiind amplificată cu ajutorul unei instalații de amplificare *7*. După amplificare, semnalele electrice transformate prin intermediul difuzoarelor *8* în semnale acustice sînt difuzate în sala cinematografului.

Sistemul optic. Prin sistemul optic se obține fanta de redare și se dirijează fluxul luminos modulat de fonogramă spre elementul fotoelectric (celulă fotoelectrică sau fotodiodă). Un astfel de sistem — foarte simplu — ar consta din montarea în imediata apropiere a fonogramei a unei fante mecanice avînd dimensiunile corespunzătoare fantei de lectură și din iluminarea acesteia cu ajutorul unei surse de lumină. Această metodă nu poate fi însă aplicată întrucît confecționarea unei fante mecanice cu o lățime de cîteva sutimi de milimetru ar fi extrem de dificilă. În plus, ea s-ar obtura în timpul exploatării prin depunere de particule.

Din această cauză este necesar a se realiza o fantă mai mare care să se micșoreze optic la dimensiunile dorite. Această micșorare poate fi rezolvată, fie printr-un sistem „microoptic", fie printr-un sistem „macrooptic". La primul sistem fanta mecanică este așezată între un sistem

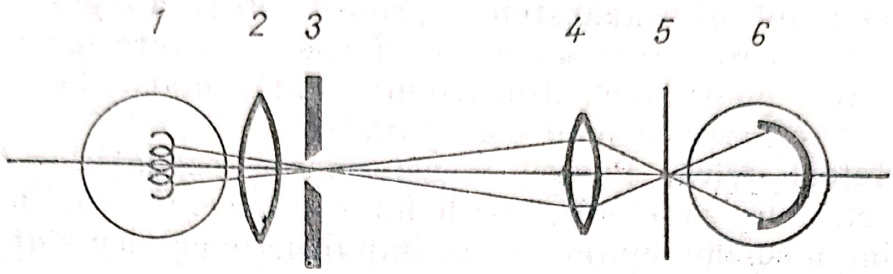


Fig. 3.40. Sistemul microoptic de redare a sunetului:
1 — lampă de ton; *2* — condensor; *3* — fantă mecanică; *4* — microobiectiv; *5* — film; *6* — celulă fotoelectrică.

optic de iluminare (un condensor) și un sistem optic de proiecție (fig. 3.40). Fluxul luminos emis de lampa de ton *1* este concentrat cu ajutorul condensorului *2* pe fanta mecanică *3*, în așa fel încît iluminarea fantei să fie cît mai uniformă. Sistemul de proiecție (microobiectivul) *4* proiectează imaginea micșorată a fantei mecanice pe fonograma filmului *5*. Dacă lățimea fantei mecanice este, de exemplu, de 0,1 mm, microobiectivul trebuie să micșoreze imaginea fantei de cinci ori, astfel încît pe suprafața fonogramei să apară fanta de citire cu lățimea standardizată de $S = 0{,}02$ mm.

Condensorul, fanta mecanică și microobiectivul sînt montate într-un suport comun și se reglează împreună.

În cazul sistemului macrooptic pentru redarea sunetului (fig. 3.41), lumina lămpii de ton *1* este concentrată direct pe fonograma filmului *3* cu ajutorul unui condensor *2*, iluminîndu-se o zonă relativ mare (un cerc cu diametrul aproximativ egal cu lățimea fonogramei). Un sistem optic *4* proiectează imaginea mărită a porțiunii iluminate a fonogramei pe fanta mecanică *5*. Fasciculul luminos care trece prin fanta mecanică ajunge, fie direct, fie prin intermediul unui sistem de dirijare, la celula fotoelectrică *6*.

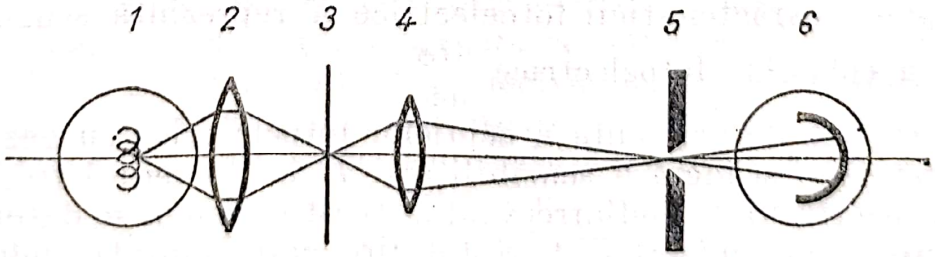


Fig. 3.41. Sistemul macrooptic de redare a sunetului:
1 — lampă de ton; *2* — condensor; *3* — film; *4* — obiectiv; *5* — fantă mecanică *6* — celulă fotoelectrică

Acest sistem folosit la aparatele de proiecție de film îngust are marele avantaj că nu necesită realizarea unei fante de redare foarte îngustă. Fanta mecanică poate avea dimensiuni relativ mari, dacă imaginea fonogramei se mărește în mod corespunzător.

Celula fotoelectrică. Pentru transformarea oscilațiilor luminoase în oscilații electrice se folosesc celule fotoelectrice. Condițiile de transformare a impulsurilor luminoase în impulsuri electrice sînt următoarele:

— transformarea să fie fără inerție, adică traductorul să funcționeze instantaneu la aplicarea impulsului, încetîndu-și funcționarea odată cu dispariția acestuia;

— impulsurile electrice trebuie să fie proporționale ca amplitudini cu cele luminoase;

— funcționarea să fie independentă de frecvență, adică răspunsul traductorului să fie același pentru întreaga gamă de audiofrecvență;

— sensibilitatea traductorului trebuie să fie mare, în spectrul vizibil, menținîndu-și valoarea într-o perioadă lungă de funcționare.

Sensibilitatea celulelor fotoelectrice variază cu frecvența luminii incidente, fotocatozii caracterizîndu-se prin efect fotoelectric selectiv. Atît valoarea absolută a sensibilității, cît și caracteristica specială selectivă depind de compoziția catodului, de gazul cu care este umplută celula, de grosimea și starea suprafeței etc.

În fig. 3.42 sînt date caracteristicile principale, iar în tabelul 3.4, valorile parametrilor unor celule fotoelectrice uzuale.

Caracteristica spectrală (fig. 3.42, *a*) reprezintă variația sensibilității I_Φ în funcție de frecvență (sau de lungimea de undă λ) Sensibilitatea la lumina albă se numește sensibilitatea integrală.

Caracteristica fotoelectrică (fig. 3.42, *b*) reprezintă variația curentului fotoelectric I_Φ în funcție de fluxul luminos Φ (pentru o valoare constantă a tensiunii aplicate pe electrozii celulei fotoelectrice). Această caracteristică servește și pentru determinarea sensibilității integrale deoarece panta caracteristicii fotoelectrice K reprezintă sensibilitatea integrală a celulelor fotoelectrice $\frac{dI_\Phi}{d\Phi}$.

Caracteristica de frecvență a celulelor fotoelectrice cu gaz (fig. 3.42, *c*) prezintă o scădere a sensibilității K în domeniul frecvențelor înalte ale spectrului de audiofrecvență. Acest fenomen se datorește valorilor timpilor de ionizare și de restabilire, care ajung la același ordin de mărime cu perioada semnalelor de frecvență înaltă. Scăderea se produce în jurul frecvenței de 6 000 Hz, ajungînd ca la $f = 10\,000$ Hz să

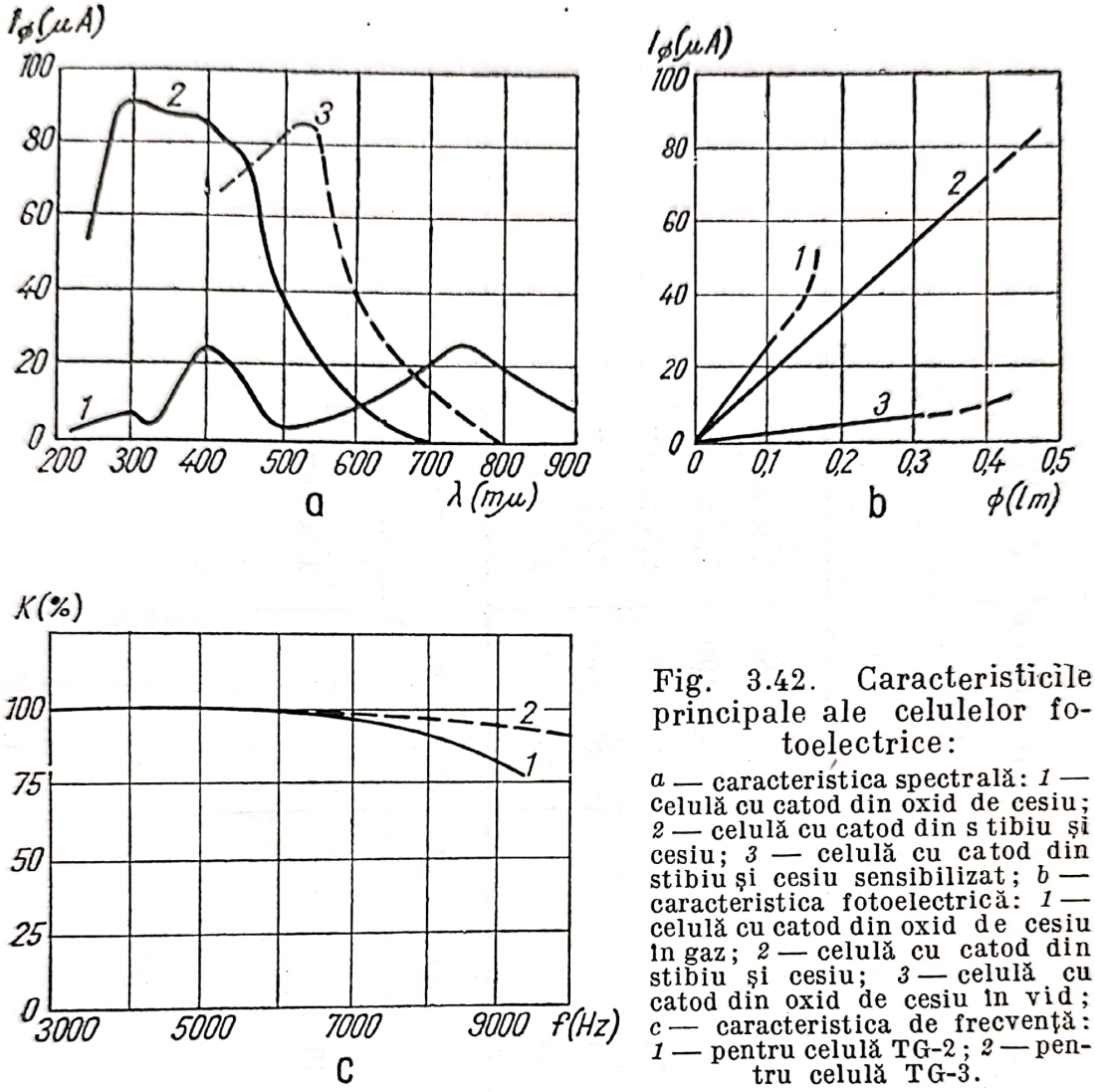


Fig. 3.42. Caracteristicile principale ale celulelor fotoelectrice:

a — caracteristica spectrală: *1* — celulă cu catod din oxid de cesiu; *2* — celulă cu catod din s tibiu și cesiu; *3* — celulă cu catod din stibiu și cesiu sensibilizat; *b* — caracteristica fotoelectrică: *1* — celulă cu catod din oxid de cesiu în gaz; *2* — celulă cu catod din stibiu și cesiu; *3* — celulă cu catod din oxid de cesiu în vid; *c* — caracteristica de frecvență: *1* — pentru celulă TG-2; *2* — pentru celulă TG-3.

se obține valori de 25% pînă la 40% din valoarea de la o frecvență de referință. Scăderea sensibilității la frecvențe înalte crește cu tensiunea anodică și cu mărirea factorului de amplificare.

O categorie specială de celule fotoelectrice o constituie fotomultiplicatoarele a căror construcție se bazează pe emisia electronică secundară. La acest tip de celule curentul fotoelectric inițial este amplificat chiar în interiorul celulei. Fotomultiplicatoarele de tip FEU, folosite în aparatele APS-35-6 și T. 16, sînt cu fotocatodul din stibiu și cesiu și au atît sensibilitatea cît și raportul semnal/zgomot mai mari. Este necesar să se menționeze că sensibilitatea mare față de trepidațiile mecanice și față de temperatură, caracteristica de frecvență neliniară, valoarea mică a raportului semnalul/zgomot și durata de funcționare redusă au deter-

Tabelul 3.4

Caracteristicile tehnice ale celulelor fotoelectrice şi fotomultiplicatoarelor

Tipul	Țara producătoare	Tensiunea de alimentare U V	Potențialul de amorsare V	Sensibilitatea S μV/lm	Curentul de repaus I_c A	Temperatura de stocaj °C	Tensiunea de alimentare a plăcii secundare V
CELULE FOTOELECTRICE							
TG-3	U.R.S.S.	240	300	150	1×10^{-7}		—
TG-4	U.R.S.S.	240	310	60—100	$2{,}5 \times 10^{-7}$		—
479 cZE	R.D.G.	100—150		80—200	$2{,}5 \times 10^{-8}$	Max 40	—
400 ZC	R.D.G.	100—105		80—170	$2{,}5 \times 10^{-8}$	Max 40	—
480 PALA	R.D.G.	100—150		400—800	1×10^{-8}	Max 40	—
FOTOMULTIPLICATOARE							
FEU 2	U.R.S.S.	200—240			1×10^{-7}		170

Scanned with OKEN Scanner

minat înlocuirea lor cu elemente care să prezinte parametri tehnici superiori.

În cazul utilizării unor fotodiode apar unele avantaje care rezultă din caracteristicile prezentate în tabelul 3.5.

Tabelul 3.5

Caracteristicile tehnice ale fotodiodelor uzuale

Tipul	1 PP-75	DF-1	DF-2	PHG-2	OAP-12
Producătorul	Tesla C.S.R.	I.P.R.S. Băneasa R.S.R.	I.P.R.S. Băneasa R.S.R.	Cosem Franța	Philips Olanda
Elementul de bază	Si	Ge	Ge	Ge	Ge
Tensiunea inversă (V)		20	20	30	30
Curentul invers (mA)		4	4	4	3
Puterea disipată (mW)		30	30		30
Temperatura de stocaj (°C)	—25; +85	—65; +85	—65; +85		66
Curentul de întuneric(μA)	50	15	15	10	15
Sensibilitatea (mA/lm)	50	50	100	50	50

Astfel, fotodiodele sînt mult mai sensibile decît celulele fotoelectrice cu gaz sau fotomultiplicatoarele, iar suprafețele lor active se uzează foarte greu. Îmbătrînirea și micșorarea sensibilității — care apar după un anumit timp de funcționare la celulele fotoelectrice cu vid și la cele umplute cu gaz — nu sînt întîlnite în cazul fotodiodelor. Atîta timp cît nu se depășesc valorile admise, în ceea ce privește tensiunea și temperatura, și cît timp nu se deteriorează mecanic masa de protecție, durata de funcționare a fotodiodelor este practic nelimitată.

Dispozitivul pentru redarea sunetului înregistrat magnetic. Principiul redării sunetului înregistrat magnetic este același la aparatele care redau sunetul de pe filmul cinematografic ca și la magnetofoane.

Cîteva particularități apar însă la aparatura de redare cinematografică datorită condițiilor specifice (de exemplu, viteza de transport a

filmului este cea necesară proiecției imaginilor, și anume de 18,3 cm/s la filmele înguste cu lățimea de 16 mm, 45,6 cm/s la filmele normale și 57 cm/s la filmele panoramice). La filmele cu lățime de 35 și 70 mm, înregistrarea magnetică a sunetului se face exclusiv stereofonic. Redarea simultană a sunetului de pe cele patru, respectiv șase fonograme de pe film (v. fig. 3.38), ridică, de asemenea, probleme deosebite.

Un magnetolector pentru redarea înregistrărilor stereofonice pe 4 canale de tip W4T35, avînd $L = 75$ mH; $R = 60$ Ω, lățimea întrefierului principal egală cu 10 μm, lățimea celui de-al doilea întrefier egală cu 0 și atenuarea între canale aproximativ 35 dB este schițat în fig. 3.43.

Partea mecanică a dispozitivelor pentru redarea sunetului de pe filmul cinematografic. Principiile constructive ale părții mecanice sînt aceleași, atît la dispozitivele de redare a sunetului înregistrat fotografic, cît și la dispozitivele pentru redarea sunetului înregistrat magnetic. În afara mecanismului de transport al filmului, care asigură concordanța vitezei filmului la redare cu cea din timpul înregistrării, mai sînt prevăzute unul sau mai multe sisteme de stabilizare. Stabilizarea vitezei de deplasare a filmului este necesară, deoarece ea nu este asigurată prin tamburii dințați care se angrenează în perforațiile filmului. Redarea sunetului cu înaltă fidelitate este condiționată de deplasarea cu viteză constantă a fonogramei filmului prin fața ferestrei de redare. În cazul în care fonograma nu se deplasează uniform — și sînt multe cauze în aparatul de proiecție care pot determina variația vitezei de transport a filmului — sunetul redat va fi distorsionat.

Valorile acestor variații de viteză, denumite și fluctuații de viteză, se apreciază prin intermediul a două mărimi; gradul de fluctuație K_f și coeficientul de fluctuație K_f^1.

Gradul de fluctuație K_f reprezintă raportul dintre componenta alternativă a vitezei v și viteza medie V_m, sau între valoarea componentei alternative a frecvenței sunetului f și valoarea ei medie f_m:

$$K_f = \frac{v}{V_m} 100\,\% = \frac{f}{f_m} 100\,\%. \qquad (3.24)$$

Urechea omului este foarte sensibilă la fluctuațiile de viteză, maximul de sensibilitate corespunzînd unor fluctuații lente, de aproximativ 4 Hz. La frecvențe mai mari sau mai mici de 4 Hz, sensibilitatea urechii scade suficient de repede. Astfel, la fluctuații cu frecvența de 0,8 Hz și 20 Hz sensibilitatea urechii scade la jumătate, iar la fluctuații de aproximativ 100 Hz, scade de 7 ori.

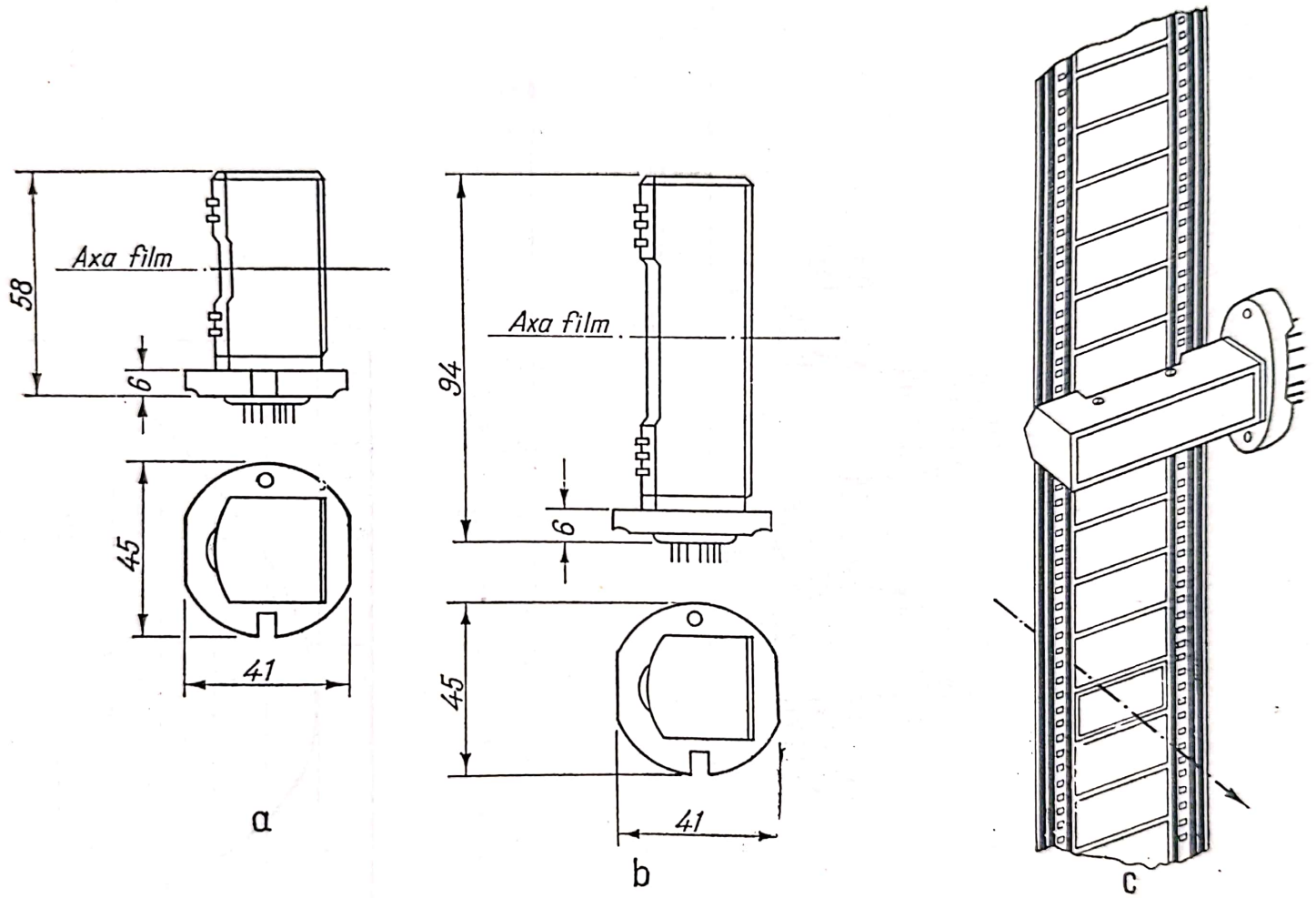
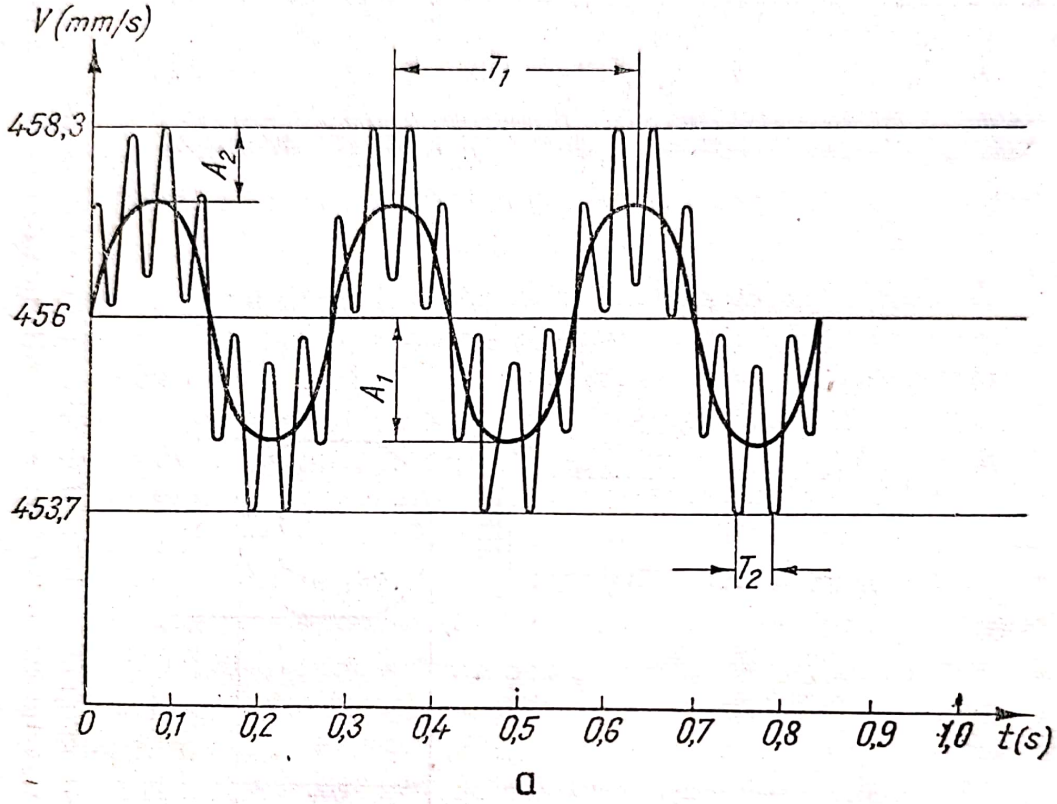


Fig. 3.43. Construcția unor magnetolectoare folosite în aparate cinematografice:
a — magnetolectorul W4T35; *b* — magnetolectorul W6T70; *c* — poziția față de film a magnetolectorului.

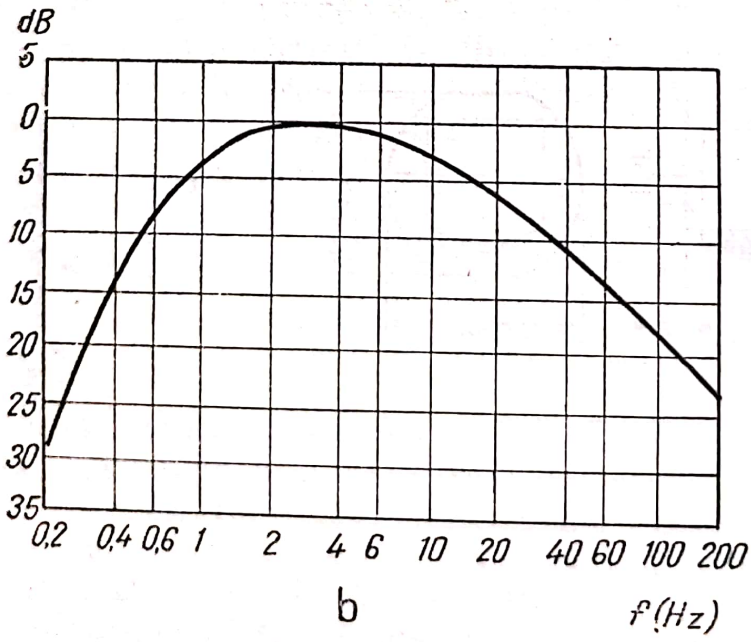
Scanned with OKEN Scanner

Pentru a aprecia calitatea funcționării dispozitivului de redare a sunetului, ținînd seamă și de influența subiectivă a fluctuațiilor asupra urechii, se introduce noțiunea de *coeficient de fluctuații* K_f^1.

În fig. 3.44, *a* este prezentată simplificat variația în timp a vitezei



a



b

Fig. 3.44. Variația vitezei filmului în dispozitivul de redare a sunetului.

filmului în punctul de redare a fonogramei. Se observă că viteza variază în mod continuu de la valoarea minimă de 453,7 m/s pînă la valoarea maximă de 458,3 mm/s. Amplitudinea componentei alternative a vitezei este aici ±2,3 mm/s. Se poate vedea, de asemenea, că perioadele oscilațiilor vitezei sînt $T_1 = 0{,}28$ s și respectiv, $T_2 = 0{,}04$ s. Frecvențele corespunzătoare sînt:

$$f_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{0{,}28} = 3{,}6 \text{ Hz și}$$

$$f_2 = \frac{1}{T_2} = \frac{1}{0{,}04} = 24 \text{ Hz.}$$

Prima oscilație a vitezei este cauzată de tamburul neted, iar cealaltă se datorește pulsației filmului cu frecvența proiecției fotogramelor filmului. Amplitudinile oscilațiilor la fiecare din cele două frecvențe sînt: $A_1 = 1{,}4$ mm la frecvența de 3,6 Hz și $A_2 = 0{,}9$ mm la frecvența de 24 Hz.

Valoarea gradului global de fluctuație rezultă din relația (3.24)

$$K_f = \frac{2{,}3}{456} = 0{,}5\ \%,$$

iar componentele corespunzătoare frecvențelor de 3,6 Hz și 24 Hz au valorile

$$K_{f\ 3,6} = \frac{1{,}4}{456} 100 = 0{,}3\ \% \quad \text{și}$$

$$K_{f\ 24} = \frac{0{,}9}{456} 100 = 0{,}2\ \%.$$

Trecînd la coeficientul de fluctuații, se aplică componentelor corecțiile rezultate din curba din fig. 3.44, *b*. Deoarece frecvența de 3,6 Hz este apropiată de 4 Hz, coeficientul de fluctuație va fi egal cu $K^1_{f\,3,6} = 0{,}3\%$.

Amplitudinea variației vitezei la frecvența de 24 Hz se micșorează de două ori și coeficientul va fi $K^1_{f\ 24} = 0{,}1\%$, iar coeficientul global de fluctuații va fi egal cu suma componentelor, adică $K^1_f = 0{,}4\%$.

Valoarea admisibilă a coeficientului global de fluctuații pentru aparatele de proiecție cinematografică pentru filme cu lățimea de 35 mm

și 70 mm este de 0,25% pentru dispozitivul de redare a sunetului înregistrat fotografic și de 0,35% pentru dispozitivul de redare magnetic.

Stabilizarea vitezei de deplasare. Mecanismele care stabilizează viteza de deplasare a fonogramei în dreptul locului de redare a sunetului se numesc stabilizatoare de viteză sau filtre mecanice și sînt alcătuite dintr-o parte de conducere și o parte condusă, avînd între ele o legătură elastică (fig. 3.45). Din cauza legăturii elastice are loc micșorarea amplitudinilor oscilațiilor forțate ale părții de conducere. Stabilizatoarele sînt prevăzute și cu un dispozitiv de amortizare a oscilațiilor părții conduse.

La dispozitivele de redare a sunetului de pe filmul cinematografic, partea condusă este formată din tamburul neted de redare *2* cuplat cu volantul *3*, iar legătura elastică, din bucata de film dintre tamburul dințat *1* și tamburul neted *2*.

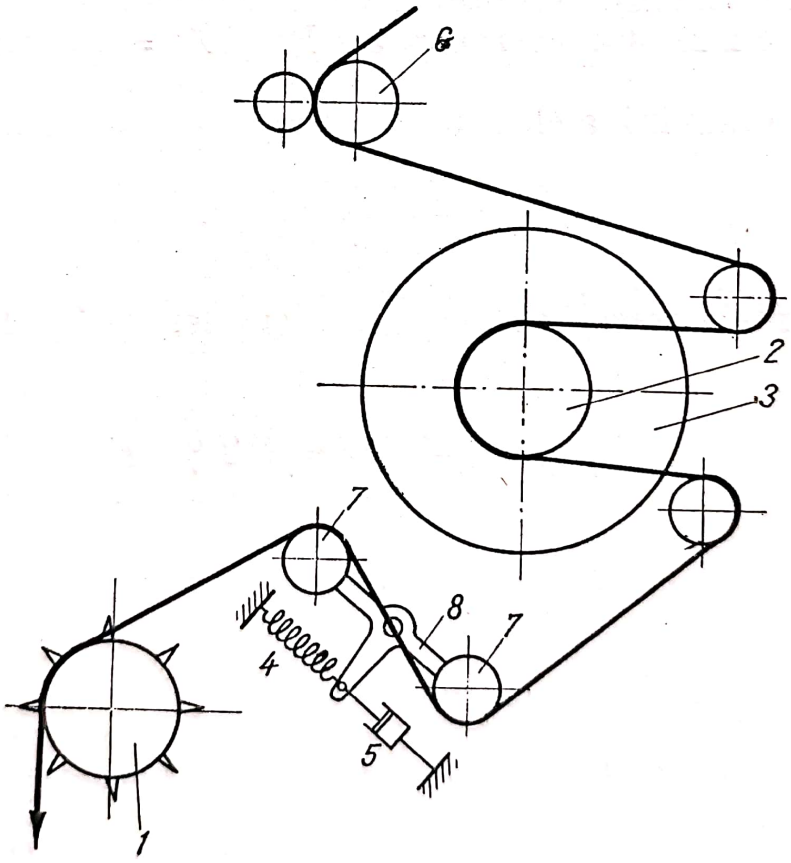


Fig. 3.45. Schema construcției mecanice a dispozitivului de redare a sunetului:

1 — tambur dințat; *2* — tambur neted; *3* — volant; *4* — resortul amortizorului; *5* — element de frecare (umedă sau uscată); *6* — rolă frînată *7* — rolele amortizorului; *8* — pîrghia amortizorului.

Amortizarea este realizată prin așa-numitul amortizor cu frecare umedă sau uscată *5*.

Pentru a putea defini mărimile stabilizatorului, trebuie luată în considerare schema mecanică echivalentă prezentată în fig. 3.46. Tamburul dințat, care antrenează filmul, reprezintă sursa de oscilații și de aceea poate fi denumit generator de viteză variabilă G_v. Mișcarea sa neuniformă se exprimă printr-o funcție $x(t)$, a cărei derivată $\frac{dx}{dt} = v$ reprezintă viteza de deplasare a filmului pe tambur:

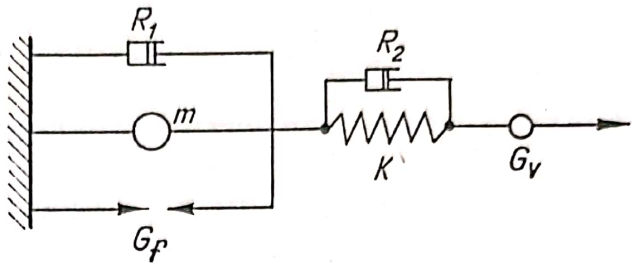


Fig. 3.46. Schema echivalentă a dispozitivului prezentat în fig. 3.53.

$$v = V + V_a \sin \omega t, \tag{3.25}$$

unde: V este componenta constantă a vitezei;

$v_a = V_a \sin \omega t$ — componenta alternativă a vitezei.

Pentru a se micșora componenta alternativă a vitezei elementului condus v_b în comparație cu v_a, legătura între cele două elemente trebuie să fie elastică (film sau resort). Proprietățile elastice ale legăturii se definesc prin elasticitatea legăturii S. Eficacitatea stabilizatorului se exprimă cu ajutorul coeficientului de protecție:

$$\eta = \frac{v_a}{v_b}. \tag{3.26}$$

Masa m a elementului condus suportă în timpul rotirii acțiunea unei forțe de frecare — care din cauza imperfecțiunii mecanismelor este variabilă. Raportul dintre forța F_p și viteza respectivă V_p reprezintă impedanța mecanică $Z_M = \frac{F_p}{V_p}$. Pentru micșorarea vitezei V_p trebuie fie să se mărească, fie să se micșoreze impedanța mecanică față de F_p. Existența forței de frînare variabilă explică apariția unui nou element în schemă, denumit generator de forță variabilă (G_f). Masa m și elasticitatea S formează un sistem capabil să oscileze pe frecvența

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{mS}}. \tag{3.27}$$

Pentru a amortiza aceste oscilații deosebit de periculoase cînd frecvențele corespunzătoare generatoarelor G_v și G_f devin egale cu frecvența

Scanned with OKEN Scanner

proprie a sistemului se introduc rezistențele R_1 și R_2. Pentru determinarea indicilor η și Z_M se recurge la metoda cunoscută a analogiilor cu circuite electrice echivalente, ajungîndu-se la concluzia că amplitudinile oscilațiilor perturbatoare pot fi micșorate dacă crește momentul de inerție al volantului și dacă se reduce raza tamburului neted. Este sarcina constructorului de a alege ambele dimensiuni, astfel încît filtrajul să fie optim.

3.3.7. *Elemente ale lanțului electroacustic pentru amplificare, reglare, amestec și corecții ale semnalelor electrice*

Așa după cum s-a arătat în § 3.2, în lanțul electroacustic sînt cuprinse și elementele prin intermediul cărora se realizează amplificarea de tensiune și de putere a semnalelor electrice, reglarea de nivel și amestecul acestor semnale, precum și corectarea caracteristicii de frecvență în funcție de proprietățile acustice ale sălii și de caracteristicile sursei de program (compensarea caracteristicii de înregistrare a discurilor, tăierea frecvențelor joase în anumite cazuri de utilizare a microfoanelor etc). Sînt cuprinse, de asemenea, aparatele și dispozitivele necesare controlului auditiv și vizual al modulației.

Toate aceste elemente componente ale lanțului sînt cunoscute sub denumirile de: amplificatoare, atenuatoare, corectoare de frecvență, filtre de frecvență. Deoarece modul de realizare și principiile de funcționare ale fiecăruia din ele sînt considerate cunoscute din manualele de bază ale radiotehnicii, în acest capitol vor fi prezentate, în special concepțiile moderne pe baza cărora se face asamblarea lor în cadrul instalațiilor de sonorizare.

Gruparea componentelor lanțului electrocaustic poate fi realizată în două variante:

— prima, în care atît amplificatoarele de tensiune, atenuatoarele pentru amestec și reglaj, corectoarele, filtrele, elementele pentru controlul auditiv și vizual, cît și amplificatoarele de putere, sînt înglobate în cadrul unei singure unități;

— în cea de-a doua, în care amplificatoarele de putere sînt separate de celelalte elemente.

Prima variantă corespunde, în general, instalațiilor de sonorizare portabile, de capacitate redusă și cu valori medii sau inferioare ale parametrilor tehnici.

Echipamentele de sonorizare realizate în cea de-a doua variantă au multiple posibilități de lucru. Montarea lor se face în încăperi special

Scanned with OKEN Scanner

destinate, ele servind la sonorizarea marilor săli de teatru, de operă și de congrese, a stadioanelor mari, a aerogărilor etc. De obicei, în asemenea instalații se utilizează echipament profesional cu parametri calitativi superiori.

După sistemul de realizare a lanțului electroacustic, categoriile de instalații sînt următoarele:

— cea „clasică", în care fiecare element (amplificator, atenuator, corector, filtru) reprezintă o unitate aparte;

— cea „modernă", introdusă de puțin timp în exploatarea curentă, bazată pe utilizarea așa-numitelor „module".

Această a doua variantă, căreia i s-au dat diferite denumiri de către fabricile constructoare (de exemplu, „tehnica VB" de la denumirea germană Variablen Blockverstärkern — sau Bausteinsystemen sau — „tehnica Modul Compact"), a apărut ca o urmare firească a tranzistorizării echipamentelor electroacustice de sonorizare. Pînă la apariția acestei tehnici noi, toate elementele din lanțul electroacustic care necesitau acționare manuală și supraveghere și care deci erau așezate pe suprafața pupitrelor de comandă formau unități aparte față de amplificatoarele de tensiune. Acestea din urmă fiind construite cu tuburi electronice, prezentau dimensiuni și greutăți mari. Trecîndu-se la realizarea amplificatoarelor tranzistorizate, greutățile și gabaritele lor au fost reduse substanțial, creindu-se premizele pentru construirea așa-numitelor „module". Prin „modul" se înțelege o unitate de instalație electroacustică care cuprinde atît elementele de reglaj, control, corecție cît și numărul corespunzător de amplificatoare.

Instalațiile realizate cu module prezintă certe și multiple avantaje față de cele clasice, ca, de exemplu: consum redus de energie electrică; degajare mică de căldură și ca urmare condiții cu totul favorabile pentru funcționarea diferitelor mecanisme; gabarite rezonabile chiar pentru instalațiile de mare capacitate; posibilități mari de adaptare la condițiile de exploatare cele mai severe întîlnite în sonorizare, în radiodifuziune, în televiziune și în industria de discuri; asigurarea unor condiții optime pentru mărirea capacității instalației, prin introducerea într-un mobilier cu cablaj pregătit anterior a unor module suplimentare.

În proiectarea și realizarea instalațiilor electroacustice cu module există în momentul de față două tendințe de dezvoltare: prima constă în utilarea echipamentelor respective cu module a căror structură poate fi stabilită după necesități și instalațiile din această categorie le vom numi „*cu module cu structură variabilă*" (ele sînt cunoscute și

Scanned with OKEN Scanner

sub denumirea „Bausteinsystem"); a doua se caracterizează prin alcătuirea unor echipamente din module cu funcțiuni bine stabilite, a căror componență nu poate suferi modificări și instalațiile respective le vom denumi *„cu module cu structură fixă"*.

Pentru exemplificare, în cele ce urmează sînt prezentate, atît o instalație din prima categorie (de fabricație Telefunken), cît și o alta, din cea de-a doua (de fabricație WSW).

Instalații electroacustice de sonorizare cu module cu structură variabilă. Aceste instalații cuprind componente alcătuite din blocuri amplificatoare care formează împreună cu elementele pentru reglaj, corecție, comutare și control subansambluri de modul.

Blocurile amplificatoare. Amplificatoarele sînt realizate sub forma cîtorva tipuri corespunzător funcțiilor pe care le îndeplinesc. Sînt astfel amplificatoare de tensiune, de modulometru, compresoare de dinamică și amplificatoare de putere. Pentru exemplificare, în cele ce urmează sînt indicate caracteristicile tehnice pentru amplificatoarele de tensiune și de putere.

Blocul amplificator BA_2, cu utilizări multiple în lanțul electroacustic, prezintă următoarele performanțe tehnice:

— amplificare (reglabilă): 18 — 35 dB;
— nivel nominal de ieșire: + 6 dB;
— nivel de ieșire pentru care factorul de distorsiuni neliniare se menține în limitele acceptabile: + 17 dB;
— factorul de distorsiuni neliniare: $\leqslant 0{,}4\%$;
— raportul semnal/zgomot raportat la ieșire: $\geqslant 96$ dB.

Blocul amplificator de putere 2 W (2W—A), întrebuințat pentru control auditiv și intercomunicație, are următoarele date tehnice mai importante:

— caracteristica de frecvență: 40 — 15 000 Hz: $\pm$ 0,8 dB;
— factorul de distorsiuni neliniare: $\leqslant 1{,}4\%$;
— impedanțe de sarcină: 4 Ω.

Este necesar să se menționeze că acest tip de amplificator cuprins în module nu permite realizarea unui control auditiv de calitate.

Subansambluri ale modulelor. Fiecare din subansamblurile care intră în componența modulelor asigură realizarea unei anumite funcțiuni a lanțului electroacustic. Astfel sînt: subansambluri pentru reglaj, pentru conectarea surselor, pentru efectele sonore, pentru interconectări, pentru distribuția programelor de sunet, pentru filtrele de frecvențe,

Scanned with OKEN Scanner

pentru controlul vizual, pentru generatorul de etalonare, pentru comenzi și intercomunicație, pentru controlul auditiv, pentru telecomanda dispozitivelor de producere a reverberației artificiale.

Din toate aceste subansambluri vor fi descrise cele mai importante.

Subansamblul pentru conectarea surselor de program este alcătuit dintr-un comutator pentru alegerea sursei de program, un bloc amplificator, clape pentru introducerea în lanțul electroacustic a unui filtru sau a unui compresor de dinamică și un comutator pentru alegerea uneia din cele patru ieșiri ale subansamblului.

Subansamblul pentru efecte sonore are în componența sa un comutator cu patru poziții, care permite conectarea atît a circuitelor de legătură ale dispozitivelor pentru producerea reverberației artificiale, cît și a celor pentru realizarea efectului „play-back". Un potențiometru face posibilă reglarea separată a „sunetului reverberat" față de cel „nereverberat", iar un comutator asigură distribuția primului pe două ieșiri. În subansamblu se găsește încorporat un bloc amplificator.

Subansamblul pentru distribuirea programelor sonore este prevăzut cu un comutator cu 5 poziții: „repaus", „sonorizare", „semnale speciale" — 2 poziții — (ca, de exemplu, semnalul gong în cazul teatrelor) și „etalonare".

Subansamblul pentru filtre este alcătuit dintr-un corector pentru frecvențe joase (± 12 dB la 60 Hz), altul pentru frecvențe înalte (± 12 dB la 10 kHz — fig. 3.47), un comutator pentru alegerea frecvențelor

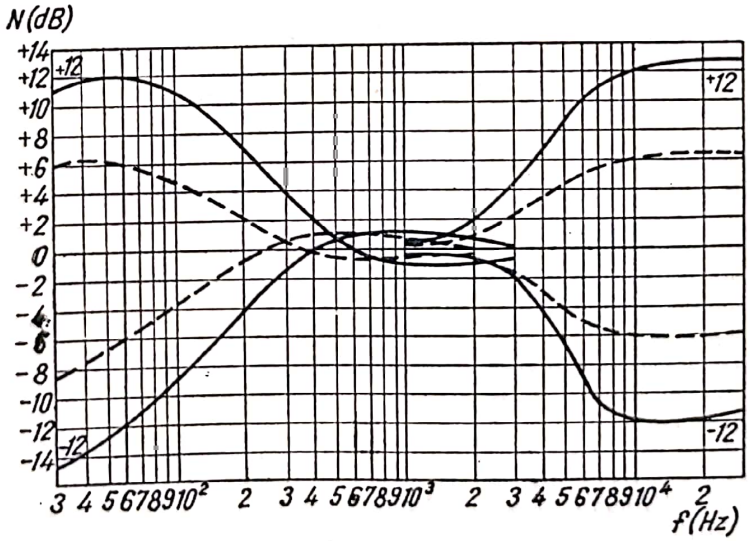


Fig. 3.47. Posibilități de corecție a caracteristicii de frecvență la o instalație cu module cu structură variabilă.

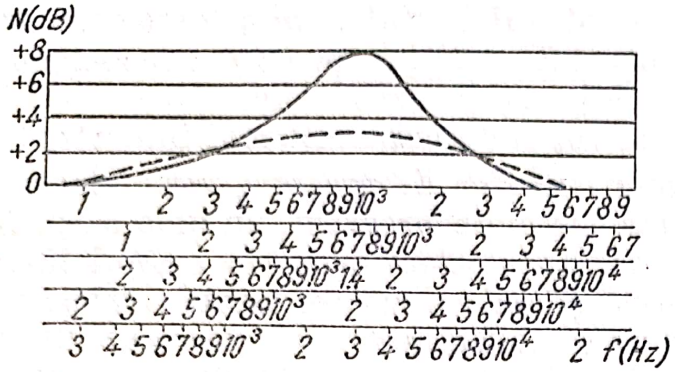


Fig. 3.48. Caracteristici ale filtrului de prezență, la o instalație cu module cu structură variabilă.

de lucru ale filtrului de prezență, un potențiometru pentru reglarea atenuării (de asemenea pentru filtrul de prezență). Așa cum rezultă din fig. 3.48, frecvențele de lucru ale acestui filtru sînt: 0,7 kHz; 1 kHz; 1,4 kHz; 2 kHz; 3 kHz, avînd atenuarea nivelului la fiecare frecvență reglabilă pînă la valoarea de 8 dB.

Subansamblul destinat efectuării controlului vizual asigură măsurarea valorilor de vîrf ale tensiunilor (pe scara gradată logaritmic a unui instrument ce se conectează la ieșirea sa).

Subansamblul pentru generatorul de etalonare cuprinde, pe lîngă generator, un comutator cu patru poziții corespunzătoare unui număr de patru frecvențe și un potențiometru pentru reglajul nivelului.

Subansamblul pentru comandă și intercomunicație are în componența sa un amplificator și un microfon. Cînd sînt necesare convorbiri cu persoane aflate în încăperi diferite, acestui subansamblu i se asociază un panou cu clape.

Subansamblul pentru efectuarea controlului auditiv conține atenuatorul pentru reglajul intensității sunetului și comutatorul cu două poziții pentru efectuarea, atît a controlului auditiv al fiecărei surse de program (magnetofoane, disclectoare, radioreceptoare etc.), cît și a controlului la ieșirea instalației.

Subansamblul pentru telecomandă este prevăzut cu elemente pentru comanda de la distanță a plăcii de reverberație, precum și cu un instrument indicator al duratei de reverberație.

Toate aceste subansambluri pot fi grupate cîte două sau trei, alcătuind în acest fel un modul.

Modulul de preamplificare, a cărui schemă este arătată în fig. 3.49, este alcătuit din două subansambluri și are drept scop amplificarea semnalelor de nivel mic (corespunzătoare microfoanelor).

Din schemă rezultă că în punctul M se poate conecta sursa de program (microfonul). Amplificarea acestui modul este reglabilă, în acest scop folosindu-se atenuatorul cu ploturi C_1. Clapele TF și TC permit conectarea filtrelor și a compresorului de dinamică (puncte de conexi-

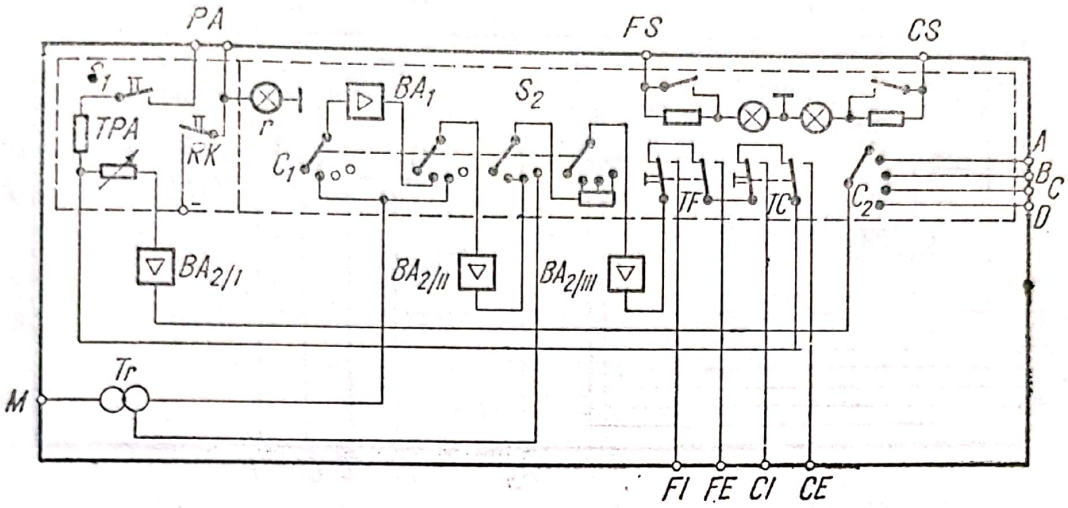


Fig. 3.49. Modul de preamplificare.

uni: *FI* și *CI* pentru intrări, *FE* și *CE* pentru ieșiri). Prin intermediul comutatorului C_2 se poate alege una din cele patru linii de ieșire ale modulului (*A*... *D*). În punctele *FS* și *CS* sînt aduse tensiunile de comandă ale semnalizărilor, care indică conectarea filtrului și a compresorului de dinamică la modul. Clapa *TPA* este destinată comenzii circuitului de control auditiv.

Bineînțeles, modulul poate fi realizat și în alte variante constructive, putîndu-i-se adăuga și subansambluri pentru reverberarea programului sonor și pentru redarea „play-back".

Datele tehnice ale acestui modul sînt următoarele:

— impedanța de intrare: $\geqslant 1{,}5$ kΩ;

— nivelul maxim la intrare: + 12 dB;

— raportul semnal/zgomot raportat la intrare (ponderat): mai bun decît — 118 dB;

— nivelul de ieșire: — 2 dB;

— nivelul de ieșire pentru care factorul de distorsiuni se păstrează în limite acceptabile: + 17 dB.

La intrarea *modulului pentru reglaj* (fig. 3.50) pot fi conectate sursele de nivel mare (magnetofoane, disclectoare, linii exterioare), și anume: în punctele L_a, L_b, L_c — circuitele de modulație; în L_{as}, L_{bs}, L_{cs} — circuitele de semnalizare corespunzătoare primelor. Notațiile din fig. 3.50

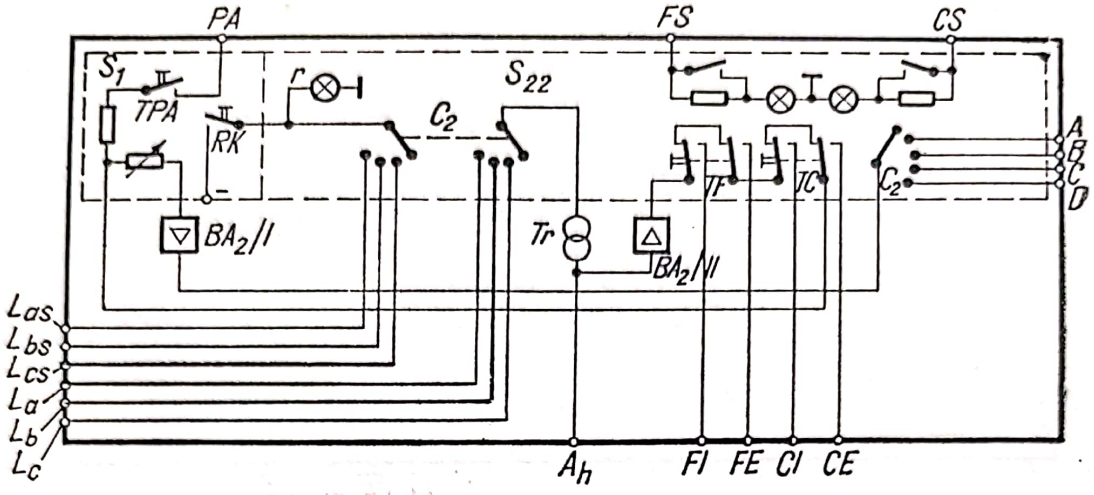


Fig. 3.50. Modul pentru reglaj.

sînt asemănătoare cu cele din fig. 3.49, existînd în plus notația A_h pentru punctul de conectare a circuitului de control auditiv. Ca date tehnice pot fi enumerate:

— impedanța nominală de intrare: $\geqslant 4\ k\Omega$;
— nivelul maxim de intrare: + 12 dB;
— nivelul de ieșire: — 2 dB.

Și acest modul poate fi realizat în mai multe variante, una dintre ele fiind cea care cuprinde circuitele pentru reverberație artificială și „play-back".

Modulul pentru canalul principal, arătat în fig. 3.51, este stfel conceput, încît permite conectarea la intrarea sa a mai multor

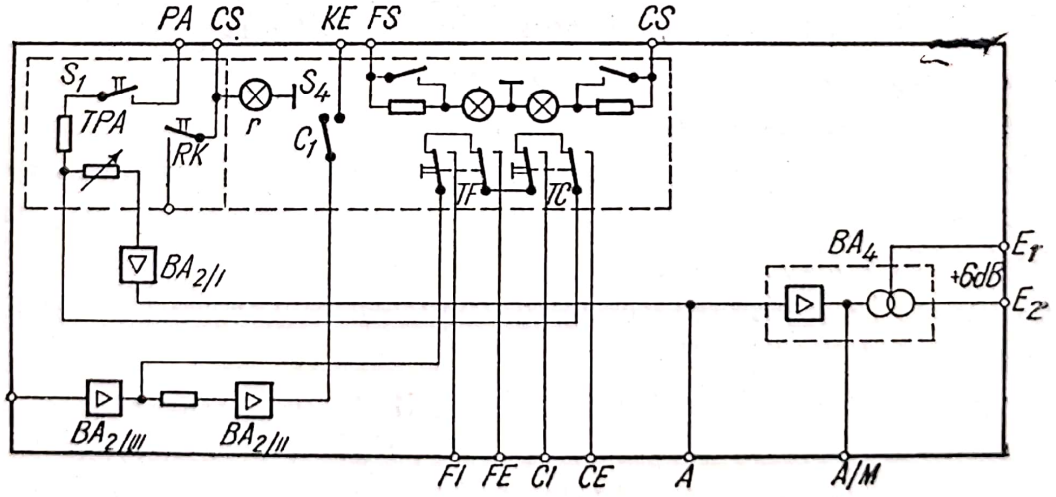


Fig. 3.51. Modul pentru canal principal.

canale de intrare. Datele sale tehnice se înscriu în următoarele limite:

— impedanța de intrare: 10 k Ω;
— impedanța nominală de ieșire: ⩽ 20 Ω;
— nivelul de ieșire: + 6 dB.

Notațiile din schema din fig. 3.51 sînt asemănătoare cu cele din fig. 3.49 și 3.50.

Și acest modul are mai multe variante constructive, putîndu-i-se anexa subansamblul pentru distribuția programelor sonore.

Schema-bloc a unei instalații, alcătuită cu astfel de module, este arătată în fig. 3.52.

Instalații electroacustice de sonorizare cu module cu structură fixă. Spre deosebire de instalațiile prezentate anterior, în cazul echipamente-

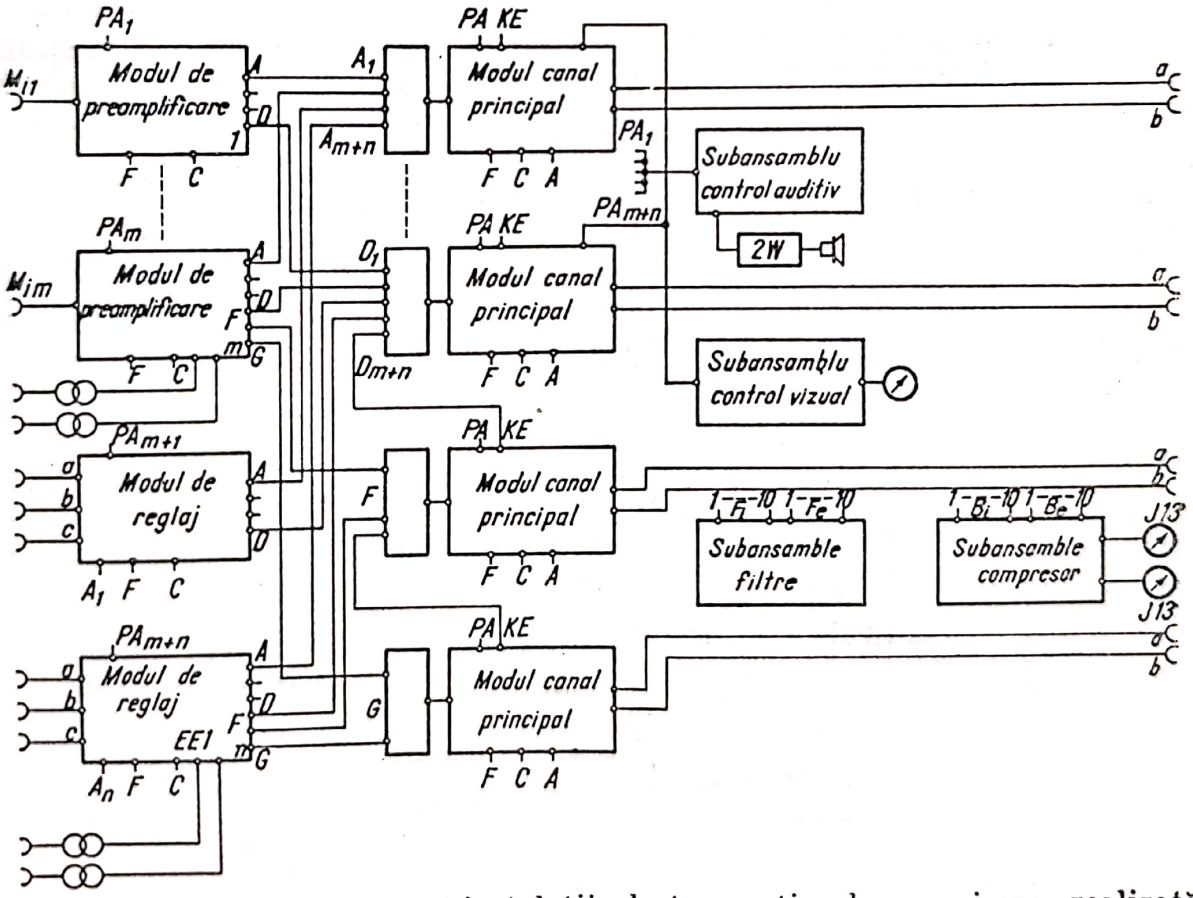


Fig. 3.52. Schema-bloc a unei instalații electroacustice de sonorizare, realizată în varianta modulelor cu structură variabilă.

lor cu module cu structură fixă, fiecare modul are o funcție bine stabilită, ocupînd un loc bine determinat în lanțul electroacustic, subansamblurile unui modul neputînd fi înlocuite cu altele de tip diferit.

Aceste module, denumite *module compacte*, sînt împărțite, de obicei în trei categorii:

— de „intrare" — mono și stereo —, la care se conectează sursele de program;

— de „grupă", mai multe module de intrare putînd fi grupate la intrarea unui astfel de modul;

— „sumă", la intrarea cărora se pot branșa unul sau mai multe module de grupă.

În afară de modulele arătate, la acest tip de instalații sînt prevăzute și module speciale, pentru introducerea unor efecte, cum ar fi reverberația artificială.

Modulul compact de „intrare" conține toate elementele corespunzătoare unei intrări de lanț electroacustic, începînd cu punctul în care se conectează sursa de program și terminînd cu cel în care se face amestecul semnalelor electrice. La intrarea sa pot fi conectate atît surse de nivel mic cît și surse de nivel mare.

Așa cum rezultă din fig. 3.53, în componența modulului de intrare intră: preatenuatorul *PR* care permite funcționarea, fie cu o sursă de nivel mare (L_1, L_2), fie cu una de nivel mic (M_1, M_2) (introduce o

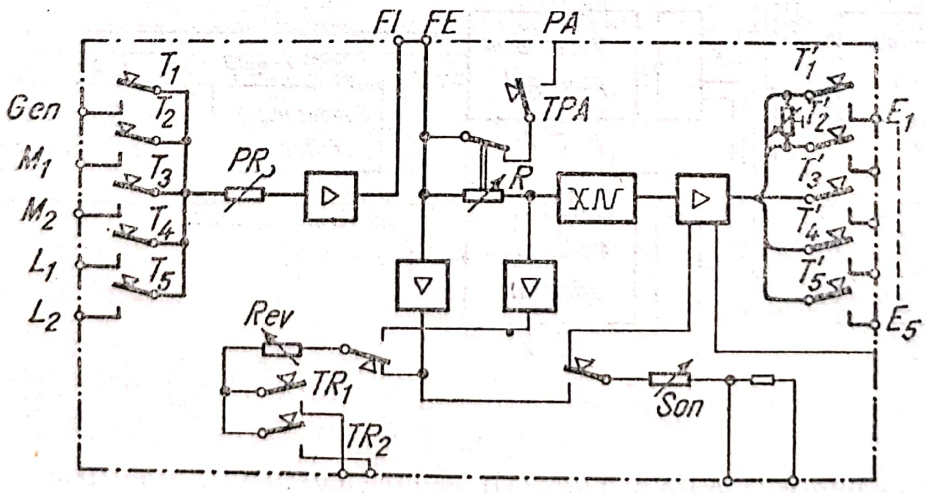


Fig. 3.53. Modul compact „de intrare".

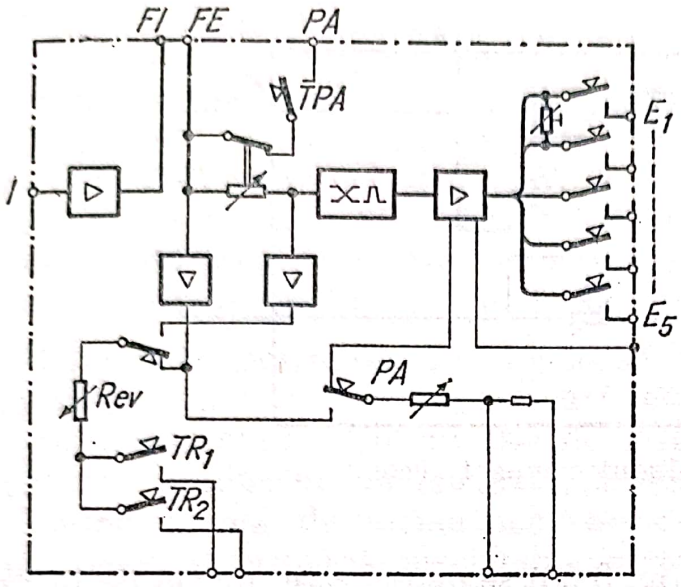


Fig. 3.54. Modul compact „grupă".

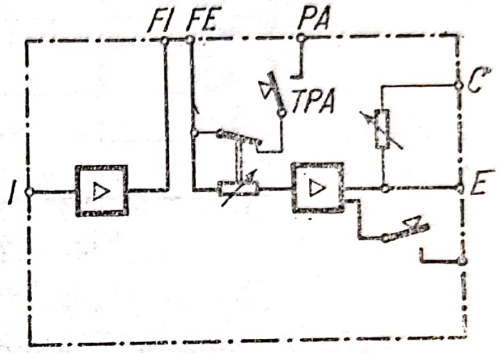


Fig. 3.55. Modul compact „sumă".

atenuare de 30 dB, reglabilă în 5 trepte a 6 dB fiecare), un atenuator reglabil, R, pentru amestecul semnalelor electrice, dispozitive pentru intercomunicație, pentru control auditiv (TPA), un filtru de prezență cu posibilități de atenuare a nivelului 9 dB, reglabilă în 6 trepte și cu 5 frecvențe de lucru. Fiecare modul poate fi conectat la două instalații de reverberație artificială (prin tastele TR_1 și TR_2), cu reglaj separat al nivelului sunetului „reverberat" față de cel „nereverberat" (atenuatorul „*Rev*"). De asemenea, mai sînt prevăzute dispozitive pentru „play-back". Prin intermediul unui grup de 5 taste (T_1... T_5) pot fi conectate, pe rînd, cele 5 surse de program (două microfoane, două surse de nivel mare, un generator pentru etalonare), iar prin alt grup de taste (T'_1... T'_5) similar cu primul, poate fi branșată ieșirea sa la 5 module de grupă.

Modulul compact „grupă" (fig. 3.54) este asemănător cu cel de „intrare", cu deosebirea că nu cuprinde tastele pentru alegerea sursei de program.

Modulul compact „sumă" (fig. 3.55) are în componența sa un atenuator variabil și un dispozitiv pentru conectarea circuitului destinat controlului auditiv.

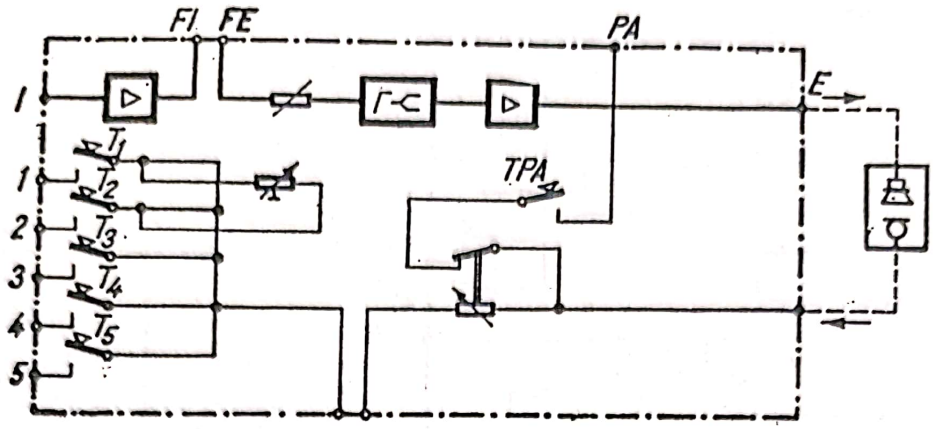


Fig. 3.56. Modul compact „ecou".

Modulul compact „ecou" (fig. 3.56) se deosebește de cel de intrare prin lipsa tastelor pentru alegerea surselor de program și a filtrului de prezență.

Un lanț electroacustic poate fi alcătuit dintr-un modul compact de „intrare", eventual unul de „grupă" și un modul „sumă". Cînd lanțul electroacustic este utilizat pentru reverberație, componența sa este următoarea: un modul „ecou", eventual un modul „grupă" și un modul „sumă".

3.3.8. *Difuzoare, ecrane, incinte*

Difuzorul. Difuzorul reprezintă unul din principalele elemente componente ale lanțului electroacustic. Acest ansamblu traductor electroacustic-radiator este asociat în majoritatea cazurilor fie cu o incintă, fie cu o pîlnie, fie cu un ecran acustic și are drept scop să răspîndească în spațiul ambiant energie sonoră.

Un difuzor de calitate, oricare ar fi tipul său constructiv, trebuie să îndeplinească anumite condiții, și anume:

— să aibă o bună sensibilitate, deci și un randament de valoare ridicată;

— să prezinte o caracteristică de frecvență cu abateri cît mai mici față de nivelul de la o frecvență centrală a spectrului transmis;

— răspunsul său să fie satisfăcător la regimurile tranzitorii;

— distorsiunile armonice, de fază și de intermodulație să fie cît mai reduse;

— greutățile și dimensiunile să nu fie excesiv de mari.

Cu toate progresele obținute în ultimul timp în acest domeniu, realizarea unui difuzor ideal, care să satisfacă, în cea mai mare măsură condițiile de mai sus, nu este încă posibilă.

Numărul de tipuri de difuzoare poate fi egal, în mod teoretic, cu cel al tipurilor de traductoare existente. În practică, însă, diferiți factori, cum ar fi cei referitori la calitate și la preț, au determinat răspîndirea cu prioritate a difuzoarelor electrodinamice și, într-o mai mică măsură, a celor electrostatice. Pentru precizarea noțiunilor sînt necesare definirea acestor două categorii de difuzoare:

Difuzorul electrodinamic. La acest difuzor deplasarea diafragmei este asigurată de o bobină solidară cu ea și excitată de o tensiune de audiofrecvență. Bobina se deplasează într-un cîmp magnetic constant, produs de un magnet permanent.

Ținînd seamă de forma lor constructivă și de domeniul de frecvențe redat, difuzoarele electrodinamice pot fi clasificate în:

— difuzoare cu diafragmă circulară;
— difuzoare cu diafragmă eliptică (ovală)

și în

— difuzoare de bandă largă;
— difuzoare pentru frecvențe joase;
— difuzoare pentru frecvențe medii;
— difuzoare pentru frecvențe înalte.

Difuzorul electrostatic. Acesta este denumit adeseori și difuzor cu condensator, deoarece reprezintă acel tip de difuzor în care forțele mecanice sînt datorate acțiunii cîmpurilor electrostatice.

Difuzoarele se mai pot clasifica în încă două mari categorii și anume:

— difuzoare cu radiație directă;
— difuzoare cu pîlnie.

La difuzoarele cu radiație directă elementul radiant acționează direct asupra mediului înconjurător, fără a mai interveni elemente adaptoare de impedanță.

La difuzoarele cu pîlnie elementul radiant este cuplat cu mediul ambiant prin intermediul unei pîlnii acustice. Aceasta este constituită dintr-un tub cu secțiunea variabilă continuu și are rolul de adaptor acustic de impedanță.

Difuzoarele cu radiație directă sînt cele mai răspîndite, datorită dimensiunilor lor relativ mici, simplității de fabricație, prețului scăzut și caracteristicilor lor tehnice, care sînt satisfăcătoare.

Scanned with OKEN Scanner

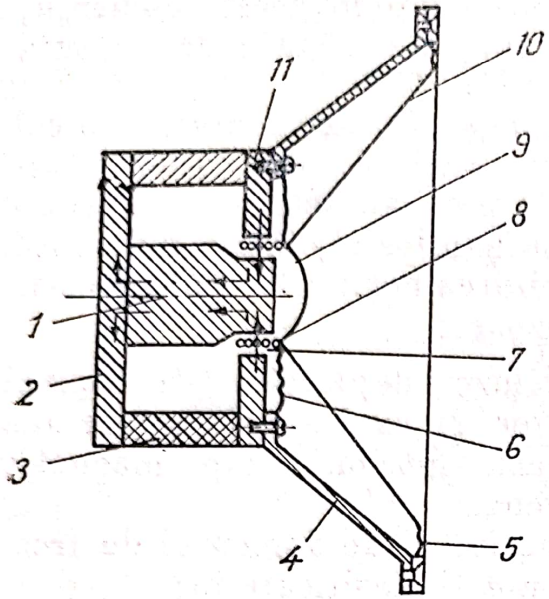


Fig. 3.57. Elementele componente ale unui difuzor electrodinamic: *1* — miez din fier moale; *2* — placă circulară din fier moale; *3* — magnet permanent; *4* — șasiu; *5* — centură circulară elastică; *6* — centrator; *7* — întrefier; *8* — bobină mobilă; *9* — calotă centrală; *10* — diafragmă; *11* — placă perforată din fier moale.

Difuzorul electrodinamic. Dintre difuzoarele cu radiație directă, așa cum s-a mai arătat, cel care are răspîndire mai mare este difuzorul electrodinamic. Un astfel de difuzor cuprinde următoarele componente principale: diafragma, conductorul mobil, care are, în general, forma unei bobine și magnetul permanent.

— În fig. 3.57 este arătat un difuzor electrodinamic, alcătuit dintr-o diafragmă, care este solidară cu bobina mobilă. Aceasta din urmă este plasată într-un întrefier prin intermediul unui centrator (spider). În figură sînt indicate și celelalte părți componente ale difuzorului: magnetul, placa circulară și miezul din fier moale, șasiul și centura circulară elastică.

La frecvențe joase diafragma este suficient de rigidă pentru a oscila ca un piston, caracteristicile sale de radiație fiind asemănătoare cu ale acestuia. În acest caz masa este egală cu suma maselor bobinei și a diafragmei, raza este egală cu raza exterioară a diafragmei, iar elasticitatea reprezintă suma elasticităților centurii circulare elastice și a centratorului.

La frecvențe înalte viteza de deplasare a diafragmei scade o dată cu creșterea razei și a masei sale. Remedierea acestei situații este posibilă prin realizarea unor diafragme cît mai ușoare și cu un diametru aparent care să scadă cînd se redau frecvențele înalte și să crească la frecvențe joase. O asemenea diafragmă se construiește din mai multe zone (fig. 3.58), legate între ele prin legături elastice, similare cu cele de la periferia sa. La frecvențe audio foarte înalte intră în oscilație numai zona din centru a

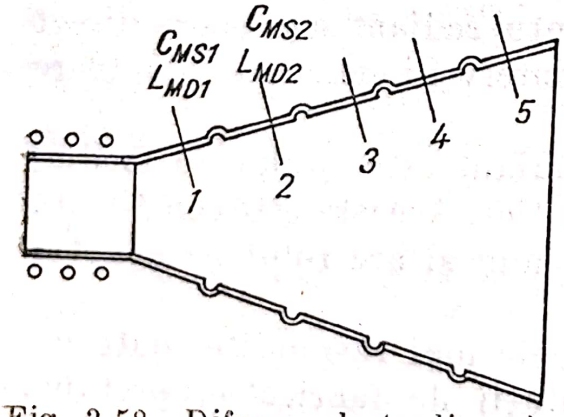


Fig. 3.58. Difuzor electrodinamic cu mai multe zone de radiație.

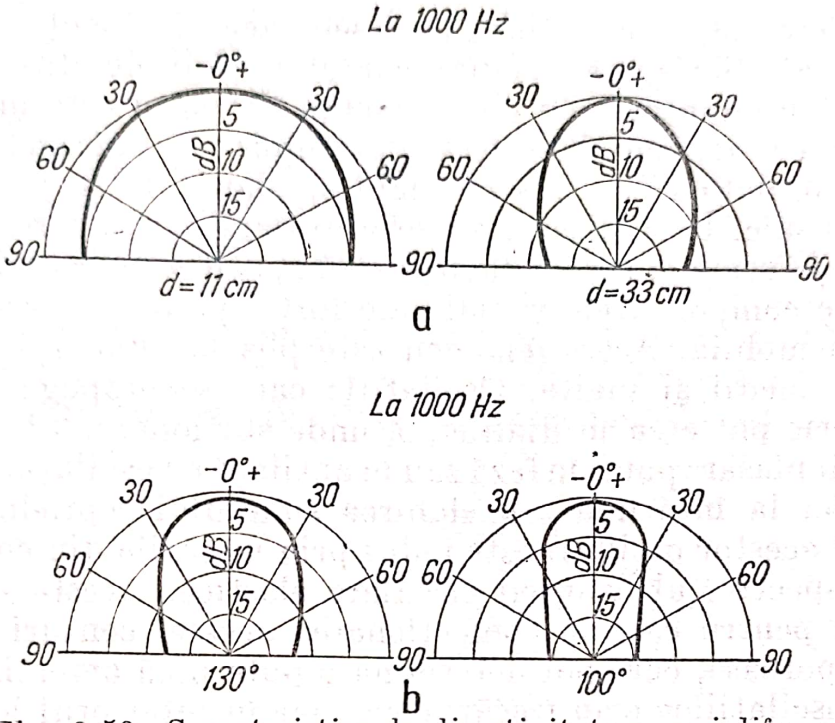


Fig. 3.59. Caracteristica de directivitate a unui difuzor cu radiație directă în funcție de diametrul membranei și de unghiul de deschidere a membranei:
a — $d = 11$ cm și $d = 33$ cm; *b* — pentru $\varphi = 130°$ și $\varphi = 100°$.

diafragmei, celelalte rămînînd nemișcate. Acest lucru se datorește faptului că, spre deosebire de cazul frecvențelor joase, unde reactanțele elasticităților $\frac{1}{\omega C_{MS_1}}$, $\frac{1}{\omega C_{MS_2}}$ etc. (fig. 3.58) ale diferitelor părți ale diafragmei sînt mari în raport cu cele ale maselor corespunzătoare ωL_{MD_1}, ωL_{MD_2} etc. (diafragma vibrează, ca un piston, a cărui masă este egală cu suma maselor parțiale, la care se adaugă aceea a echipamentului mobil, rigiditatea fiind cea a suspensiei), la frecvențe înalte reactanțele elasticităților au tendința să scadă, ele scurtcircuitînd succesiv radiația zonelor, în sensul de la periferie către centru.

Se poate afirma că proprietățile directive ale unui astfel de difuzor depind, în principal, de raza și de unghiul de deschidere al diafragmei, precum și de frecvența sunetului reprodus. Suspensia și forma conductorului mobil influențează într-o măsură mai mică directivitatea. În fig. 3.59 este exemplificat cu titlu informativ, felul în care acești parametri influențează caracteristica de directivitate. Se poate observa că la o frecvență dată, caracteristica de directivitate este cu atît mai pronunțată, cu cît raza diafragmei este mai mare și cu cît unghiul său

de deschidere este mai redus. De asemenea, influența unghiului de deschidere al diafragmei asupra caracteristicii de directivitate este cu atît mai pronunțată, cu cît frecvența de lucru este mai mare.

În cele arătate mai înainte s-a presupus că diafragma difuzorului poate fi asimilată cu un piston rigid și plan care se mișcă numai în lungul axei sale. În realitate, materialul flexibil din care este realizată diafragma și forma ei conică favorizează apariția unor oscilații proprii, generate de componentele radiale ale forței pe care o creează curentul din bobina mobilă. Acest fenomen este pus în evidență în special la frecvențele medii și înalte. Oscilațiile care se propagă de la centru spre periferie pot crea în diafragmă unde staționare, ale căror amplitudini de deplasare pot fi în fază sau în antifază cu oscilația utilă, contribuind astfel la întărirea sau slăbirea sunetului reprodus.

Efectul acestor oscilații este redus prin frecările din corpul diafragmei și, respectiv, al centurii circulare elastice. Acesta este de altfel și motivul pentru care la confecționarea acestei centuri se utilizează materiale poroase, care pot determina o puternică amortizare a amplitudinilor oscilațiilor prin frecările ce apar în interiorul lor.

Sisteme de difuzoare electrodinamice multiple. Asemenea sisteme sînt frecvent utilizate pentru reproduceri de înaltă calitate, deoarece caracteristicile lor de frecvență și de directivitate sînt mult îmbunătățite față de cele ale difuzoarelor clasice. Elementele care intră în componența unor astfel de sisteme trebuie să fie bine adaptate. Astfel este necesar ca sensibilitățile lor să aibă valori comparabile în benzile de frecvență pentru care au fost prevăzute să funcționeze, evitîndu-se apariția fenomenului pe care unii autori îl numesc „zone de tăcere", adică a unor domenii de frecvențe în care răspunsul de ansamblu al sistemului este foarte scăzut.

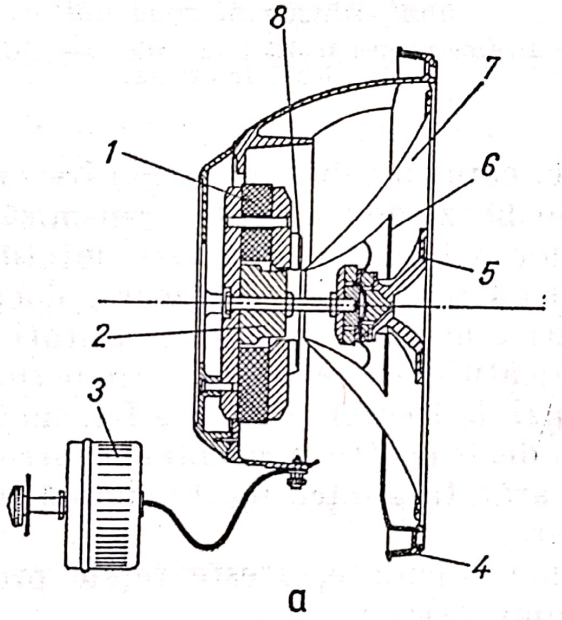
Cel mai simplu sistem cu difuzoare multiple cuprinde, în principiu, un difuzor de diametru mare (pe care unii autori îl numesc „boomer" sau „woofer"), destinat reproducerii sunetelor de frecvență joasă (în general pînă la 600 Hz sau 1000 Hz) și un difuzor cu diametru mic (denumit uneori și „tweeter"), destinat reproducerii sunetelor de frecvență înaltă (pînă la 10 000 sau 15 000 Hz, limita superioară depinzînd de calitatea difuzorului).

Sisteme mai perfecționate cuprind trei unități, cum este cazul difuzorului din fig. 3.60, *a*, de fabricație Goodmans. Acesta are în componența sa două difuzoare cu diametre mari (aprox. 32 cm și 14 cm) asociate cu o pîlnie. Din punctul de vedere al caracteristicii de frec-

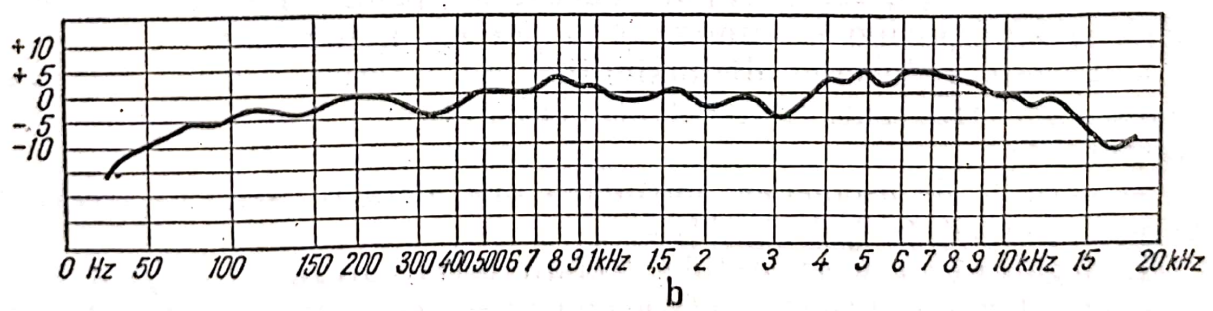
Scanned with OKEN Scanner

venţă, asemenea sisteme permit obţinerea unor abateri de ± 5 dB în gama cuprinsă între aproximativ 70 Hz şi 15 kHz (fig. 3.60, *b*).

Caracteristica de directivitate, în cazul montării separate pe un panou a celor trei elemente, apare cu neregularităţi foarte pronunţate, în special în regiunea de suprapunere a frecvenţelor generate de două difuzoare vecine. Ascultătorul va percepe anumite maxime şi minime provocate de defazajul datorat diferenţelor de drum — parcurs de undele acustice — dintre ele şi difuzoarele de pe panou. Acest inconvenient poate fi evitat dacă se plasează diferitele unităţi componente ale sistemului pe aceeaşi axă (fig. 3. 60). Numeroşi constructori realizează astfel de sisteme (cu două sau trei unităţi coaxiale), combinate



a



b

Fig. 3.60. Difuzor electrodinamic, multiplu, montat coaxial:
a — secţiune: *1* — magnet; *2* — bobină mobilă; *3* — filtru-atenuator; *4* — saşiu; *5* — pîlnie pentru frecvenţe înalte; *6* — membrană pentru frecvenţe medii; *7* — membrană pentru frecvenţe joase; *8* — centrator; *b* — caracteristica de frecvenţă.

Scanned with OKEN Scanner

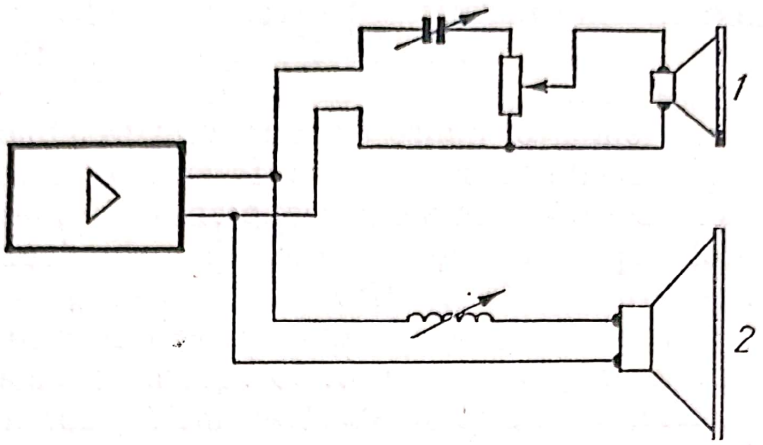


Fig. 3.61. Schema de principiu a unor rețele separatoare, foarte simple, utilizabile în cazul unui difuzor cu două unități:
1 — difuzor pentru înaltă frecvență; *2* — difuzor pentru joasă frecvență.

cu filtre electrice, care au rolul de a regla frecvențele limită și nivelul relativ al fiecărei benzi de frecvențe transmisă.

Utilizarea unor astfel de filtre este întotdeauna necesară la sistemele care cuprind mai multe difuzoare, dacă se dorește obținerea unei puteri acustice maxime și a unei calități optime.

Filtrele sînt alcătuite din elemente care permit sau blochează trecerea anumitor benzi de frecvență, în așa fel, încît fiecare unitate să nu poată fi utilizată decît pentru frecvențele pentru care a fost concepută. În fig. 3.61 este arătată o rețea foarte simplă, utilizată la un sistem cu două difuzoare.

Dacă sînt bine calculate, aceste rețele prezintă unele avantaje, care se pot rezuma astfel:

— permit obținerea unei puteri acustice optime, fiecare component al sistemului putînd fi alimentat la puterea nominală;

— permit reducerea distorsiunilor de intermodulație, semnalele de o anumită frecvență fiind filtrate și dirijate spre lanțul de reproducere prestabilit;

— permit, de asemenea, obținerea unei caracteristici de frecvență și de directivitate îmbunătățite.

În legătură cu aceste rețele, trebuie totuși precizat că, prin însăși concepția lor, ele influențează răspunsul în regim tranzitoriu al sistemului, în ansamblul lui.

În tabelul 3.6 sînt indicate principalele date tehnice ale unor difuzoare electrodinamice, de fabricație recentă.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.6

Date tehnice privind difuzoarele electrodinamice

Producătorul	Model Tip	Diametrul diafragmei cm	Răspunsul cu frecvență	Frecvența de rezonanță Hz	Material diafragmă	Material suspensie	Tipul magnetului	Bobina mobilă	Puterea nominală W	Impedanța Ω	Adîncimea cm
Altec	605 B	38	20 Hz — 22 kHz	25	Hîrtie	Textil	Al. V	Cupru pentru joasă frecvență ∅ 7,6 cm Aluminiu pentru înaltă frecvență ∅ 2 cm	50	16	25
Electro-Voice	15 TRX	38	25 Hz — 20 kHz	25	Hîrtie	Textil	Ceramic	Aluminiu ∅ 6,3 cm	40	16	21
Electro-Voice	30 W	76	15— 300 Hz	18	Hîrtie impregnată	Poliester poros	Ceramic	Cupru ∅ 6,3 cm	100	16	34
Hartley	310	25,5	30 Hz — 20 kHz	40	Hîrtie impregnată	Textil	Alcomax III	Cupru ∅ 2,5 cm	20	8	14
Sonotone	CH-12A	30	35 Hz — 20 kHz	50	Hîrtie	Hîrtie ondulată	Al. V	Cupru ∅ 2,5 cm	40	8	—
Wharfedale	Super 12/RS/DD	30	25 Hz — 20 kHz	26—30	Hîrtie	Hîrtie ondulată	Ceramic	Aluminiu ∅ 4,5 cm	20	12—15	18

Scanned with OKEN Scanner

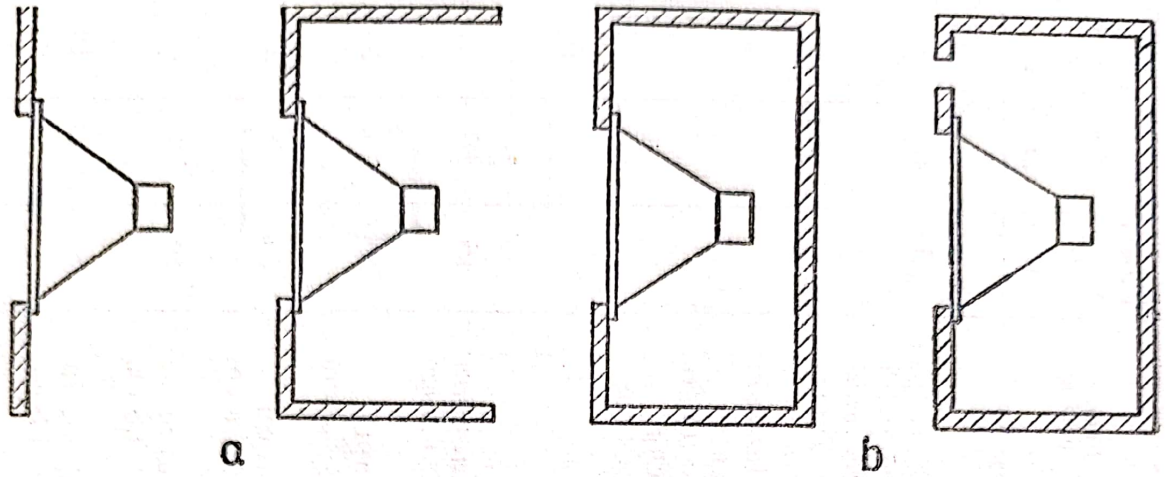


Fig. 3.62. Incinte acustice pentru difuzoare.

Ecrane și incinte acustice. În practica curentă difuzorul nu funcționează independent, ci asociat cu un ecran sau cu o incintă. Acestea din urmă influențează caracteristicile tehnice ale ansamblului ecran-difuzor, respectiv incintă-difuzor.

Prin ecran acustic se înțelege un dispozitiv rigid pe care se fixează difuzorul și care are rolul de a mări traseul undei acustice între fața și spatele diafragmei (fig. 3.62, *a*).

Incinta acustică reprezintă un volum închis, care poate prezenta, totuși, în anumite cazuri, o deschidere de suprafață mai mare sau mai mică. Pe panoul frontal al incintei se găsește fixat difuzorul (fig. 3.62, *b*).

Ecrane. Este cunoscut faptul că un difuzor radiază prin cele două fețe ale sale, el putînd fi asimilat din acest punct de vedere cu un dublet acustic. Presupunînd că diafragma se deplasează spre fața difuzorului, se creează o suprapresiune înaintea ei și o depresiune în spatele său și prin aceasta un defazaj între semnalele acustice emise de cele două fețe ale difuzorului. Efectul acesta este cu atît mai accentuat, cu cît sursele care formează dubletul sînt mai apropiate și cu cît frecvența semnalelor este mai joasă.

Rolul ecranului acustic este acela de a evita apariția acestui fenomen și de a determina ca funcționarea sub formă de dublet a ansamblului difuzor-ecran să aibă loc la o frecvență cît mai coborîtă, obținîndu-se în acest fel, în locul de ascultare, semnale acustice în fază.

Ecrane plane. Acest tip de ecrane cuprinde două mari categorii: ecrane plane finite și ecrane plane infinite. Pentru a fi eficace, aceste ecrane trebuie să aibă dimensiunile superioare jumătății lungimii de undă corespunzătoare sunetului cu frecvența cea mai coborîtă.

Ecranele plane infinite trebuie să îndeplinească și ele această condiție. Practic, ele ar putea fi realizate dintr-un perete de mari dimensiuni, în care s-ar fixa difuzorul.

Ecranele plane de dimensiuni finite constituie categoria cea mai răspîndită, ele fiind ușor de realizat și avînd prețul relativ scăzut.

Evident că un astfel de ecran trebuie să se comporte ca un ecran infinit pentru tot domeniul de frecvențe transmis (fig. 3.63).

Din categoria ecranelor de dimensiuni finite pot fi citate două tipuri: unele în care difuzorul se montează în centrul lor și altele, în care amplasamentul acestuia se face excentric. La primele apar neregularități pronunțate ale caracteristicii de frecvență (fig. 3.64), deoarece la frecvențele la care traseul undei acustice între fața și spatele difuzorului este egal cu lungimea de undă, apar defazaje pronunțate. Acest fenomen poate fi evitat sau cel puțin redus, — în ceea ce privește consecințele sale — prin utilizarea celui de-al doilea tip de ecran cu difuzorul montat excentric. În acest caz este evident că diferitele trasee ale undelor acustice emise de cele două fețe ale difuzorului sînt diferite ca lungime și nu pot apărea interferențe între semnalele emise de fața și de spatele difuzorului.

Un astfel de ecran, normalizat, este folosit pentru măsurări electroacustice și are dimensiunile de 1,65 m × 1,35 m, centrul decupării

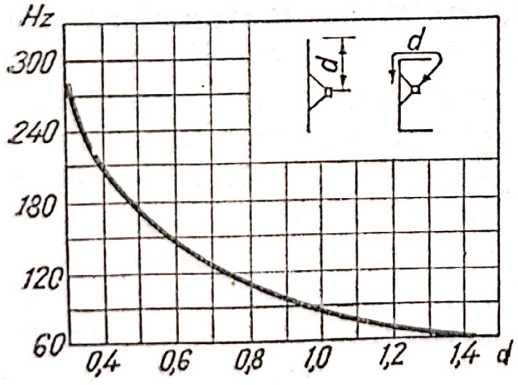


Fig. 3.63. Influența dimensiunilor ecranului asupra frecvențelor limite inferioare reproduse de ansamblul difuzor-ecran.

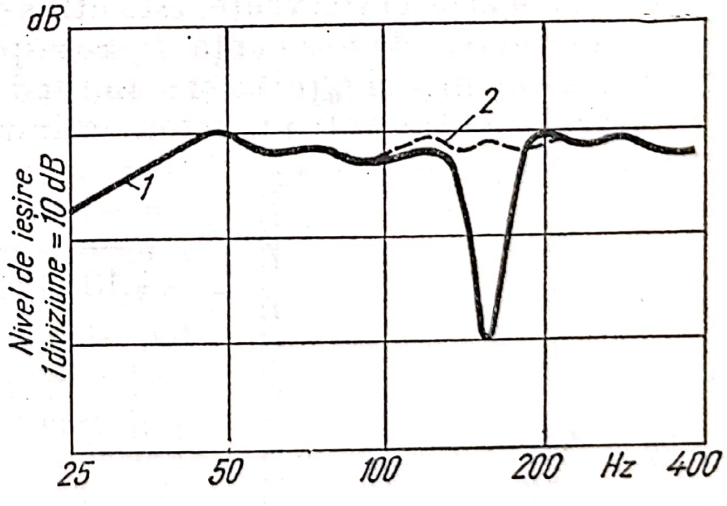


Fig. 3.64. Influența amplasamentului unui difuzor fixat pe un ecran plan de dimensiuni finite (latura 2,5 m) asupra caracteristicii de frecvență (la frecvențe joase):

1 — difuzorul montat în centrul ecranului; *2* — difuzorul montat excentric.

circulare pentru difuzor fiind amplasat la 15 cm față de axa verticală și la 22,5 cm față de axa orizontală (STAS E 7061-64).

Incinte acustice. Pot fi clasificate după cum urmează: deschise, închise și antirezonante.

Incinte deschise. Aceste incinte au, în general, forma unui paralelipiped, avînd difuzorul amplasat pe una din fețe. Asemenea incinte sînt utilizate frecvent drept casete pentru radioreceptoare și televizoare. Fiind asemănătoare în principiu cu ecranele, este evident că eficacitatea lor va fi cu atît mai mare, cu cît vor avea dimensiuni mai mari și pereți mai rigizi. În funcționarea lor trebuie să se țină seama că, pentru anumite frecvențe, ele se pot compara cu un tub, care vibrează în sfert de lungime de undă, difuzorul radiind în acest caz mai multă energie prin spatele casetei decît prin fața ei.

Incinte închise. La o astfel de incintă cele două fețe ale difuzorului sînt complet separate prin pereții casetei. Din acest punct de vedere, această situație corespunde unui ecran infinit. În practică, însă, incintele nu se realizează cu pereții etanși, ci se prevede o mică deschidere, care are drept scop egalizarea presiunilor statice din interiorul și exteriorul lor, asigurîndu-se în acest fel deplasarea normală a membranei. Volumul de aer cuprins în incinta închisă acționează întocmai ca un resort asupra membranei, fapt care are drept consecință modificarea frecvenței proprii de rezonanță a sistemului. Pentru a se putea aprecia modificarea acestei frecvențe, este util să se ia în considerare rapoartele între frecvențele de rezonanță f_i, corespunzătoare difuzorului montat în incintă închisă și f_0 (difuzorul radiind liber în spațiu) și între f_i și f_e (difuzorul montat într-un ecran infinit). Relațiile matematice sînt următoarele:

$$\frac{f_i}{f_e} = \sqrt{1{,}13\left(1 + \frac{C_d}{C_i}\right)}; \tag{3.28}$$

$$\frac{f_i}{f_0} = \sqrt{0{,}87\left(1 + \frac{C_d}{C_i}\right)}, \tag{3.29}$$

în care:

C_d este elasticitatea sistemului de suspensie a difuzorului;
C_i — elasticitatea masei de aer cuprinsă în incintă.

Se constată că f_i este superioară lui f_e și f_0 și că este proporțională

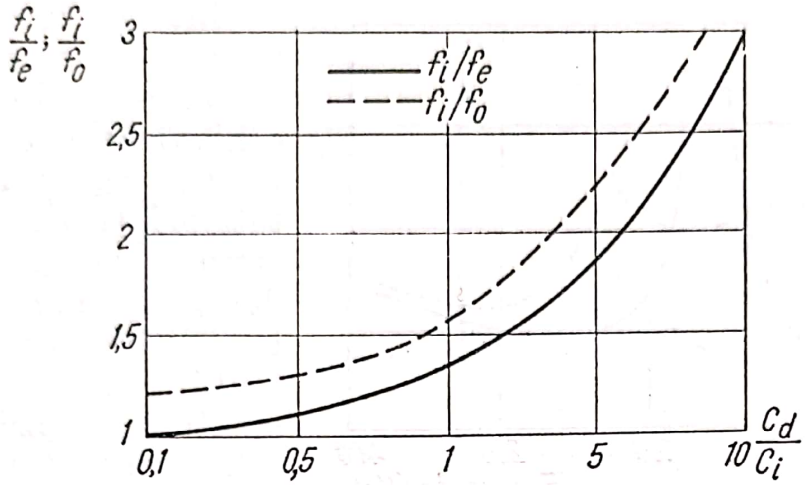


Fig. 3.65. Curbele de variație a rapoartelor diferitelor frecvențe de rezonanță în funcție de raportul $\frac{C_d}{C_i}$.

cu raportul $\frac{C_d}{C_i}$ (acest lucru se observă și în fig. 3.65). Elasticitatea C_i fiind la rîndul ei proporțională cu volumul, se recomandă ca acesta din urmă să fie cît mai mare, pentru ca raportul $\frac{C_d}{C_i}$ să fie minim și deci rapoartele $\frac{f_i}{f_e}$ și $\frac{f_i}{f_0}$ să fie cît mai apropiate ca valoare de unitate.

Incinte antirezonante. Prin incintă antirezonantă se înțelege o incintă în care o parte din energia radiată de spatele diafragmei difuzorului este readusă spre ascultător, după introducerea unui defazaj, în vederea creșterii energiei totale radiate într-un anumit domeniu de frecvențe. Practic, o astfel de incintă (fig. 3.66) este prevăzută cu o deschidere amplasată pe același panou pe care este fixat și difuzorul. Deschiderea este de formă dreptunghiulară sau circulară și are, în general, o suprafață mai mică decît cea a diafragmei difuzorului. Aerul din incintă este acționat de diafragma difuzorului și acesta, la rîndul său, acționează „diafragma pasivă" constituită de masa de aer din deschidere.

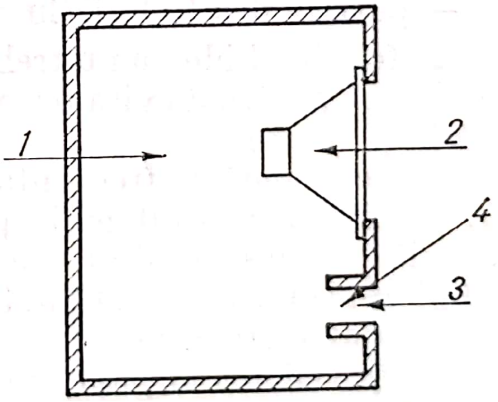


Fig. 3.66. Incintă antirezonantă:
1 — incintă; *2* — difuzor de suprafață S_1; *3* — deschidere de suprafață S_2; *4* — tub de lungime l.

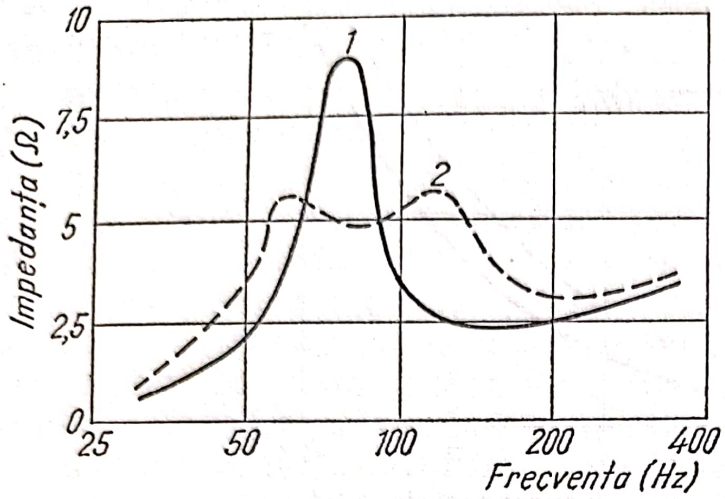


Fig. 3.67. Influența unei incinte antirezonante asupra răspunsului unui difuzor (la frecvențe joase);
1 — difuzor fără incintă; *2* — difuzor cu incintă.

Într-un mod cu totul simplificat se poate spune că, într-un circuit electric echivalent, masa de aer din incintă poate fi reprezentată printr-o capacitate, în timp ce aerul din deschidere este reprezentabil printr-o inductanță și o rezistență. Aceste două elemente formează un circuit echivalent *LC* paralel, a cărui frecvență de rezonanță poate fi stabilită la o valoare dorită, acționînd fie asupra unuia din acestedouă elemente, fie asupra ambelor.

Incinta și difuzorul formează un ansamblu ale cărui caracteristici depind de proprietățile fiecărui element. Interdependența lor se face simțită — așa cum se observă și în fig. 3.67, îndeosebi la frecvențele joase.

Calitatea unei incinte antirezonante poate fi influențată de următorii factori:

— dimensiunile și caracteristicile tehnice ale difuzorului;
— datele constructive ale incintei;
— datele constructive al deschiderii;
— poziția deschiderii în raport cu difuzorul.

Astfel, deschiderea nu trebuie să fie amplasată la prea mare distanță de difuzor,pentru a evita o directivitate foarte accentuată la frecvențele medii și înalte.

Se recomandă ca frecvența de rezonanță a incintei și cea a difuzorului să aibă valori cît mai apropiate pentru a se putea limita amplitudinile deplasării diafragmei, în vederea micșorării distorsiunilor neliniare. Informativ, în fig. 3.68 sînt arătate curbele care indică dependența dintre frecvența de rezonanță a difuzorului și volumul incintei, în vederea obținerii unor caracteristici de radiație satisfăcătoare (ele sînt valabile cînd suprafețele deschiderii și cele ale diafragmei sînt asemănătoare).

Pereții incintei trebuie să fie rigizi, pentru ca funcționarea difuzorului să nu fie influențată de vibrațiile lor.

Scanned with OKEN Scanner

În scopul evitării apariției undelor staționare, acești pereți vor fi acoperiți cu material fonoabsorbant.

Pentru dimensionarea unei incinte antirezonante pot fi utilizate următoarele relații, recomandate de L. Keibs:

$$\frac{S_2^2}{m_2} = \frac{S_1^2}{m_1} \cdot \frac{1}{1.44} [\text{cm}^4\text{g}^{-1}]; \quad (3.30)$$

$$V = 9{,}85 \cdot 10^5 \frac{S_1^2}{m_1} \cdot \frac{1}{\omega_f^2} [\text{cm}^3], \quad (3.31)$$

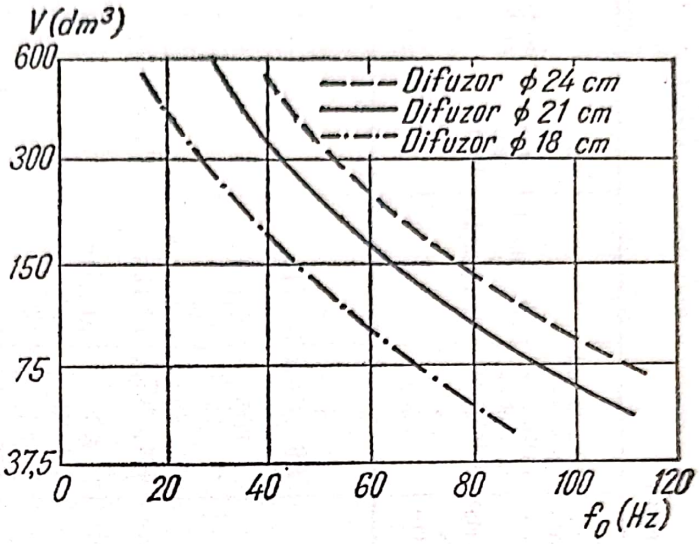


Fig. 3.68. Relația preferențială dintre frecvența de rezonanță a difuzorului și volumul incintei.

în care:

S_1 este suprafața diafragmei difuzorului;
m_1 — masa diafragmei difuzorului;
S_2 — suprafața deschiderii;
m_2 — masa de aer din deschidere;
V — volumul incintei;
ρ_0 — densitatea aerului;
$\omega_f = 2\pi f_f$ — frecvența unghiulară de rezonanță a difuzorului.

Dacă deschiderea incintei este circulară, atunci:

$$S_2 = R_2^2 \pi \text{ și } m_2 = \frac{16}{3} \rho_0 R_2^3$$

(R_2 fiind raza deschiderii) și deci

$$\frac{S_2^2}{m_2} = \frac{3\pi^2}{16\rho_0} R_2. \quad (3.32)$$

Relațiile (3.30) și (3.31) capătă forma:

$$R_2 = \frac{S_1^2}{m_1} \cdot \frac{1}{1{,}44} \cdot \frac{16\rho_0}{3\pi^2} = 4{,}53 \cdot 10^{-4} \frac{S_1^2}{m_1}, \quad (3.33)$$

$$V = 9{,}85 \cdot 10^5 \frac{S_1^2}{m_1} \frac{1}{\omega_f^2}. \quad (3.34)$$

Unele date tehnice privind incintele cu difuzoare sînt prezentate în tabelul 3.7.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.7

Date tehnice privind incintele cu difuzoare

Producătorul	Model tip	Difuzor pentru redarea sunetelor de frecvență joasă			Difuzor pentru redarea sunetelor de frecvență medie		Difuzor pentru redarea sunetelor de frecvență înaltă		Dimensiuni incintă: lățime × adîncime × înălțime	Răspunsul cu frecvență	Rețele de frecvență limită	Impedanță
		Diametrul cm	Frecvență de rezonanță Hz	Material diafragmă	Diametrul cm	Material diafragmă	Diametrul cm	Material diafragmă	cm		Hz	Ω
Altec	A_7-500 W_1	38	25	Hîrtie	—	Pîlnie din duraluminiu	—	—	82×64×105	30 Hz — 22 kHz	500	8—16
Benjamin (EMI)	102	eliptic 34×20	15	Aluminiu Hîrtie	—	—	9	Hîrtie	63×35×33	30 Hz — 20 kHz	4 500	8
Electro-Voice	E-V-6	45	15	Poliester poros	20	Milar	Pîlnie Fenolic		82×43×76	30 Hz — 20 kHz	250 800 3 500	8
Fisher	XP-7	30	16—18	Hîrtie	12,5	Hîrtie	4	Textil	63×30×35	30 Hz — 20 kHz	300 2 500	8
Tannoy	GRF	38	32	Hîrtie	—	—	Pîlnie duraluminiu		50×43×105	35 Hz — 20 kHz	1 000 350	8
Wharfedale	W 60 D	30	26	Hîrtie + Textil	12,5	Hîrtie + Textil	7,5	Milar	60×33×35	30 Hz — 20 kHz	1 000 3 500	4—8

Scanned with OKEN Scanner

Exemplu de calcul. Pentru un difuzor care are raza $R_1 = 10$ cm și la care s-au măsurat următoarele valori: inducția în întrefier $B = 10\,000$ Gs; frecvența de rezonanță $f_f = 60$ Hz; masa (diafragmă plus sistem de centrare, plus aer deplasat de membrană) $m_1 = 12{,}3$ g, se cere să se dimensioneze o incintă antirezonantă.

În funcție de aceste date rezultă:

$$S_1 = \pi R_1^2 = 314 \text{ cm}^2. \tag{3.35}$$

$$\omega_f = 2\pi f_f = 376 \text{ s}^{-1}. \tag{3.36}$$

Înlocuind rezultatul (3.35) în (3.33), se obține: $R_2 = 3{,}65$ cm.

Pentru determinarea volumului incintei se introduc în expresia (3.34) valorile (3.35) și (3.36), rezultînd $V = 5{,}6 \cdot 10^4$ cm^3.

Pentru calculul lungimii tubului se folosește relația:

$$l = 3{,}76 \cdot 10^3 \, R_2^2 \frac{m_1}{S_1^2} - 1{,}7 \, R_2. \tag{3.37}$$

Coloane cu difuzoare. Problema coloanelor cu difuzoare, adică a surselor sonore punctiforme, identice, amplasate cît mai apropiat unele de altele, prezintă o importanță deosebită în tehnica sonorizărilor. Proprietățile acestor surse grupate fie în linie dreaptă, fie în arc de cerc sau pe un inel circular, sînt interesante mai ales în ceea ce privește posibilitatea de obținere a unor caracteristici de directivitate de o anumită formă, dorită de proiectant.

Dacă se consideră un număr n de surse identice, egale ca intensitate, aflate în fază și situate în linie dreaptă, ca cele din fig. 3.69, se poate defini caracteristica de directivitate D prin relația:

$$D = \frac{\sin\left[\frac{n\,\pi d}{\lambda}\sin\theta\right]}{n \sin\left[\frac{\pi\, d}{\lambda}\sin\theta\right]}. \tag{3.38}$$

Cînd numărul n de surse crește și distanța d, care le separă, scade, expresia (3.38) capătă forma:

$$D = \frac{\sin\left[\frac{n\,\pi d}{\lambda}\sin\theta\right]}{\left[\frac{n\,\pi\, d}{\lambda}\sin\theta\right]}. \tag{3.39}$$

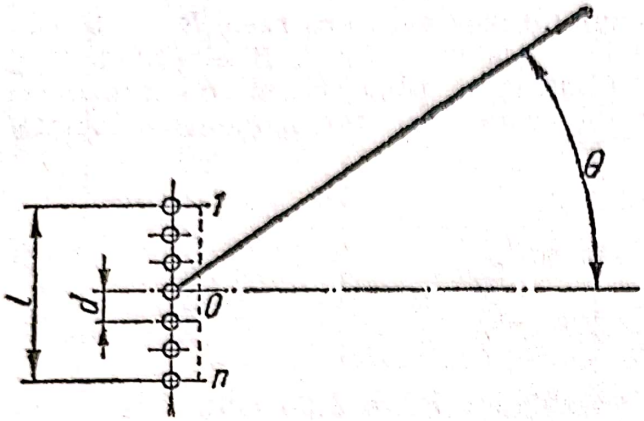


Fig. 3.69. Reprezentarea schematică a unor surse punctiforme situate în linie dreaptă.

Semnificațiile simbolurilor n, d și θ rezultă din fig. 3.69.

Într-o reprezentare grafică a funcției D, corespunzătoare unui astfel de sistem, se observă că lobii laterali tind să dispară cînd numărul surselor crește, caracteristica de directivitate înscriindu-se într-un unghi a cărui deschidere este din ce în ce mai mică. Un fenomen analog are loc cînd distanța care separă cele două surse extreme este multiplu al lungimii de undă. Din contră, directivitatea este puțin marcată cînd această distanță este mică în raport cu lungimea de undă (fig. 3.70).

În practică se întîlnește adeseori cazul în care sursele sînt amplasate pe o suprafață sferică sau elipsoidală, cu scopul de a evita o directivitate foarte marcată, în special la frecvențe înalte. În această situație se găsesc și pîlniile multicelulare, care vor fi descrise în paragraful următor. Caracteristicile de directivitate ale surselor sonore situate pe un arc de cerc se înscriu într-un unghi foarte larg, cînd lungimea de undă λ este mare în raport cu raza cercului pe care sînt plasate. Unghiul se micșorează cînd lungimea de undă este comparabilă cu această rază, marcînd din nou o creștere cînd λ este mai mic decît R (fig. 3.71).

Difuzoare cu pîlnie. O pîlnie este, așa cum s-a mai arătat, un tub acustic, a cărui secțiune este variabilă, începînd cu punctul de origină, denumit gît, și terminînd cu punctul terminus, denumit gură (fig.3.72). La o astfel de pîlnie se poate admite că undele care se propagă sînt plane cînd dimensiunile ei sînt mici în raport cu lungimea de undă. Legea de variație a secțiunii, în funcție de distanța măsurată pe axul de simetrie, a cărui origină se consideră ca fiind amplasată în gît, poate fi sau conică sau parabolică sau exponențială. Astfel de pîlnii oferă posibilitatea de a adapta corect impedanța sistemului mecanic oscilant la aceea a mediului ambiant, lucru ce nu este posibil să se realizeze la un difuzor cu radiație directă. În acest fel rezultă, pe de o parte, un randament mărit, iar, pe de altă parte, posibilitatea de a

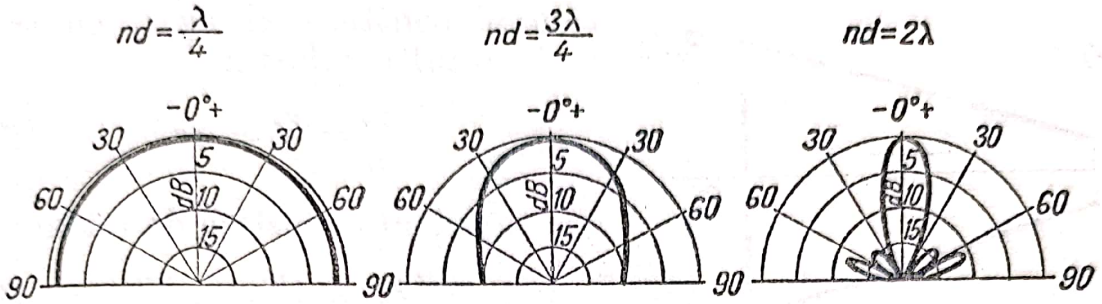


Fig. 3.70. Caracteristicile de directivitate ale unor surse punctiforme situate în linie dreaptă (direcția 0° este perpendiculară pe această linie).

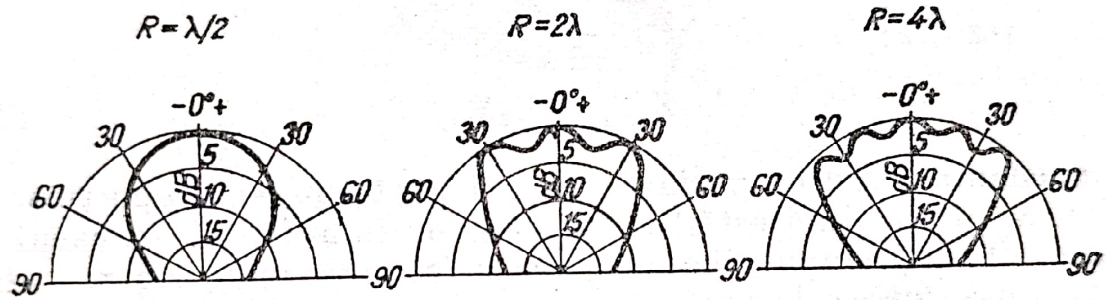


Fig. 3.71. Caracteristicile de directivitate ale unor surse punctiforme situate pe aceeași linie curbă.

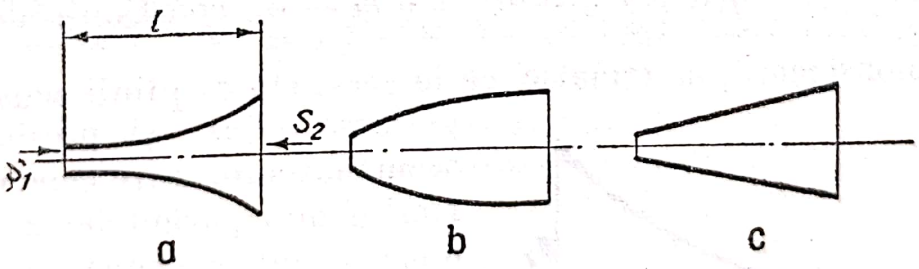


Fig. 3.72. Pîlnii pentru difuzoare, de diferite forme:
a — hiperbolică; *b* — parabolică; *c* — conică.

obține caracteristicile direcționale dorite prin utilizarea unui număr adecvat de tipuri de pîlnii de un anumit profil.

Considerînd cazul cel mai simplu, acel al pîlniei conice (fig. 3.73), în care unda acustică se propagă de la gîtul de secțiune S_1, la gura de secțiune S_2, raportul presiune / viteză

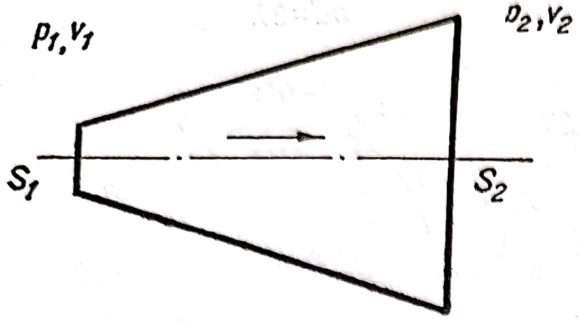


Fig. 3.73. Pîlnie conică pentru difuzoare.

rămîne constant și egal cu ρc, de unde rezultă relația:

$$\frac{p_1}{v_1} = \frac{p_2}{v_2} = \rho c. \qquad (3.40)$$

Impedanța acustică de intrare este

$$Z_1 = \frac{p_1}{S_1 v_1} = \frac{\rho c}{S_1}, \qquad (3.41)$$

iar impedanța acustică de ieșire este

$$Z_2 = \frac{p_2}{S_2 v_2} = \frac{\rho c}{S_2}, \qquad (3.42)$$

de unde rezultă:

$$Z_1 S_1 = Z_2 S_2. \qquad (3.43)$$

Impedanța acustică variază în mod continuu și proporțional cu secțiunea, pîlnia fiind astfel un adaptor de impedanță. În cazul mai sus amintit s-a presupus că propagarea se face prin unde riguros plane. Practic, însă, între cele două mărimi, p_1 și v_1, există un anumit defazaj la intrare, și un alt defazaj la ieșire, ceea ce duce la apariția de distorsiuni care sînt puse în evidență în special la frecvențele joase.

Pentru remedierea acestui inconvenient se recomandă utilizarea unor pîlnii exponențiale (cu legea de variație a secțiunii $S = S_1 e^{mx}$, în care S_1 este secțiunea gîtului, iar m — o constantă de mărire) (fig. 3.74).

Se demonstrează, matematic, că la acest tip de pîlnii ecuațiile care definesc viteza și presiunea sînt asemănătoare, între cele două mărimi nemaiapărînd defazaje care să ducă la introducerea unor distorsiuni.

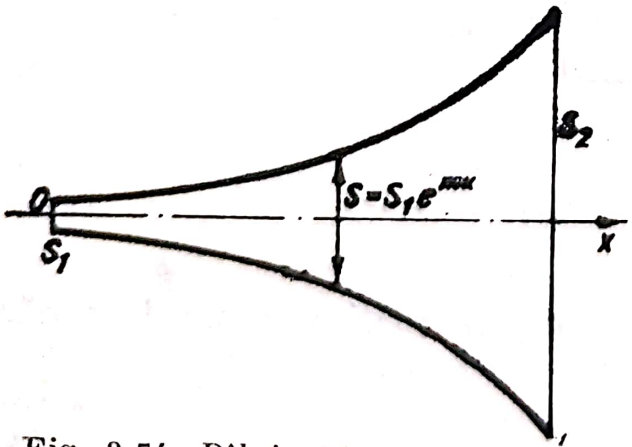
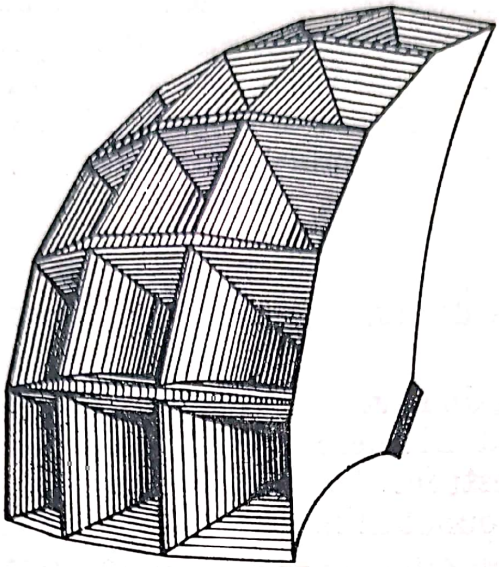


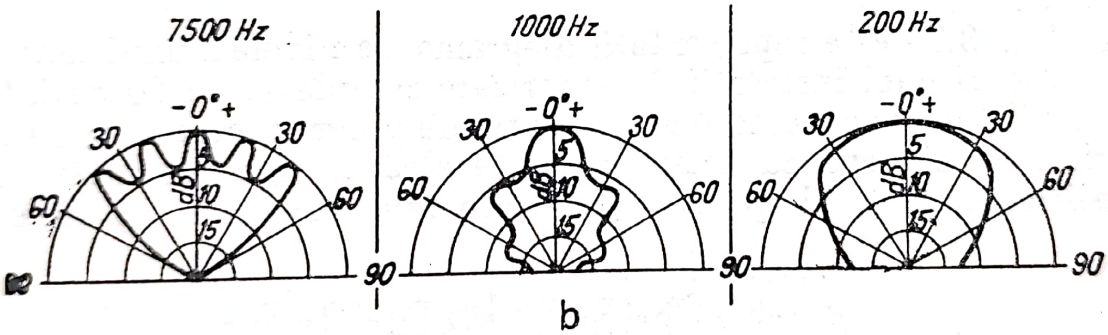
Fig. 3.74. Pîlnie hiperbolică pentru difuzoare.

Pîlnii multicelulare. O astfel de pîlnie este constituită din mai multe pîlnii, ale căror gîturi comunică între ele, gurile lor fiind situate pe o aceeași suprafață sferică (fig. 3.75, *a*).

Scanned with OKEN Scanner



a



b

Fig. 3.75. Pîlnie multicelulară:
a — aspect; *b* — caracteristici de directivitate.

Prin utilizarea unei astfel de pîlnii se urmărește obținerea într-un anumit unghi solid, determinat de suprafața sferică a gurilor pîlniilor componente a unor unde acustice egale în amplitudine și sinfazice.

Pentru studiul acestor pîlnii multicelulare s-a plecat de la ipoteza verificată prin experimentări de laborator, că prin cunoașterea caracteristicilor direcționale ale unei singure celule (admițînd că o celulă nu o influențează pe cealaltă), se pot determina caracteristicile de directivitate ale pîlniei multicelulare. Aceste caracteristici au forme

diferite, în funcție de frecvență sau, mai corect spus, în funcție de raportul dintre deschiderea totală a gurii pîlniei și lungimea de undă (fig. 3.75,*b*). Cînd deschiderea totală este mare față de λ, fasciculul sonor acoperă un unghi larg, el îngustîndu-se pe măsură ce acest raport devine unitar și apoi crescînd iarăși pentru valori subunitare ale raportului.

3.4. Diagrama de nivele a lanțului electroacustic

Prin diagrama de nivele a unui lanț electroacustic se înțelege reprezentarea grafică a nivelelor semnalelor electrice în diferite puncte succesive ale acestuia. Ea permite cunoașterea nivelelor semnalelor electrice în orice punct al lanțului — înaintea și în urma fiecăruia din elementele sale componente — putîndu-se astfel constata dacă acestea funcționează sau nu în limite admisibile și deci dacă dinamica corespunde genului de program sonor transmis.

În acest scop, în diagramă se indică limitele de nivel minimă și maximă, precum și atenuările fixe, cele reglabile și amplificările din lanț.

În fig. 3.76 este reprezentată diagrama de nivele a unui lanț electroacustic al unei instalații de sonorizare complexe, cu 20 de intrări, cu posibilități de conectare a unor surse de program cu nivele de ieșire diferite. Se observă că acest lanț este alcătuit din elemente active (amplificatoarele) și pasive (atenuatoarele, transformatoarele de

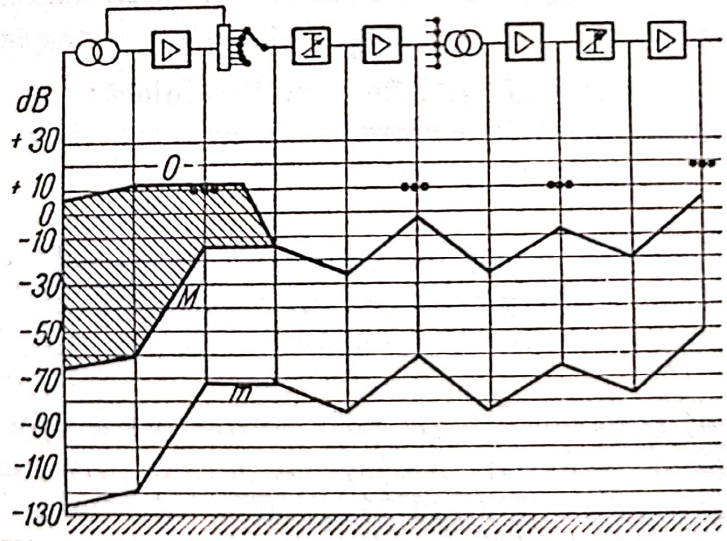


Fig. 3.76. Diagrama de nivele a unui lanț electroacustic.

simetrizare). În diagramă sînt precizate nivelele după fiecare element component, precum și amplificarea, respectiv atenuarea corespunzătoare acestuia.

Nivelul minim din acest lanț este de — 123,5 dB (nivelul de zgomot raportat la intrarea lanțului electroacustic), iar cel maxim, de +6 dB (nivelul de ieșire al lanțului electroacustic). Pentru ambele nivele s-a considerat tensiunea de referință de 0,775 V. Cu linie punctată este marcată limita în care factorul de distorsiuni neliniare păstrează valori admisibile. Curba *m* reprezintă variația nivelului de zgomot începînd cu intrarea lanțului electroacustic. Curba *M* indică variația nivelului maxim. Curba *O* este trasată pentru cazul în care amplificarea din lanț este minimă, corespunzător unei surse de program de nivel mare (+6 dB). Cele două curbe *O* și *M* limitează zona de reglaj a amplificării în funcție de nivelul de ieșire al sursei.

Mai trebuie precizat că, datorită contribuției elementelor sale componente, nivelul de zgomot al lanțului este uneori inferior cu 6—8 dB față de nivelul de zgomot propriu al rezistenței pe care este închisă intrarea sa. Știind că tensiunea de zgomot a unei rezistențe este dată de relația

$$U = \sqrt{4KTR\Delta f}, \tag{3.44}$$

în care

R este valoarea rezistenței pentru care se calculează tensiunea de zgomot;
Δf — domeniul de frecvențe;
K — constanta lui Boltzmann;
T — temperatura absolută

și înlocuind — pentru a exemplifica-valorile $R = 200\ \Omega$, $\Delta f = 15$ kHz, $K = 1{,}38.10^{-23}$ Ws/ grad , $T = 300°$K, rezultă o tensiune de zgomot de 0,225 μV (care, raportată la tensiunea de 0,775 V, reprezintă un nivel de — 131 dB). Se observă, deci, că diferența între nivelul de zgomot propriu al unei rezistențe de 200 Ω și nivelul de zgomot, raportat la intrare, al lanțului electroacustic, indicat în diagramă, este de 7,5 dB.

Descrierea și calculul unui lanț electroacustic. Lanțul electroacustic este alcătuit — așa cum s-a văzut — din cuadripoli pasivi (care comportă rezistențe, inductanțe și capacități, fără a avea înglobate și tensiuni electromotoare) și activi (care cuprind tensiuni electromotoare).

Scanned with OKEN Scanner

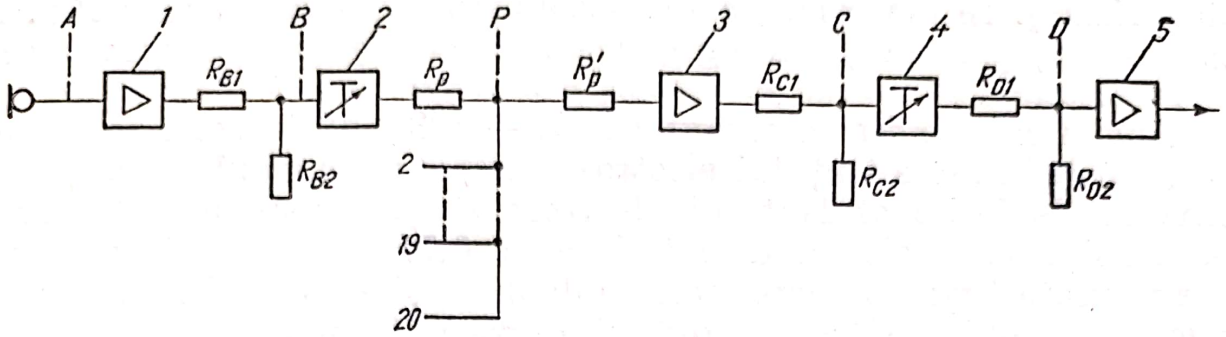


Fig. 3.77. Elementele componente ale lanțului electroacustic.

În fig. 3.77 este arătat un lanț electroacustic, simplificat, în componența căruia intră un amplificator, așa-numit *de cale 1*, și un atenuator *de cale 2*. Aceste două elemnte alcătuiesc *calea de microfon*. Punctul *P* reprezintă locul din lanț în care se conectează în paralel mai multe căi, corespunzătoare fie unor microfoane, fie unor magnetofoane, fie unor disclectoare. Urmează amplificatorul „intermediar" *3*, atenuatorul de „grup" *4* și amplificatorul de „grup" *5*. Semnalele electrice, provenite de la fiecare din sursele arătate, sînt amplificate și reglate prin intermediul componentelor *1* și *2*, amestecul lor producîndu-se în punctul *P*. Amplificatorul *3* compensează, de obicei, atenuarea corespunzătoare rezistențelor de adaptare din acest punct. În fine, prin elementele *4* și *5* se realizează reglajul și amplificarea semnalelor electrice după ce s-a produs amestecul acestora. Modul de lucru al cuadripolilor din lanțul electroacustic este bazat fie pe impedanță imagine, fie pe impedanță iterativă.

Se spune, că un cuadripol lucrează pe bază de impedanță imagine, în cazul în care, conectînd la bornele de intrare *1—1'* impedanța Z_g, iar în bornele de ieșire *2—2'*, impedanța de sarcină Z_s (fig. 3.78), acestea sînt astfel, încît $Z_{I1} = Z_g$ și $Z_{I2} = Z_s$. În acest caz se consideră că s-a obținut adaptarea la bornele *1—1'* și *2—2'*. Impedanțele Z_{I1} și Z_{I2} se numesc impedanțele imagine ale cuadripolului.

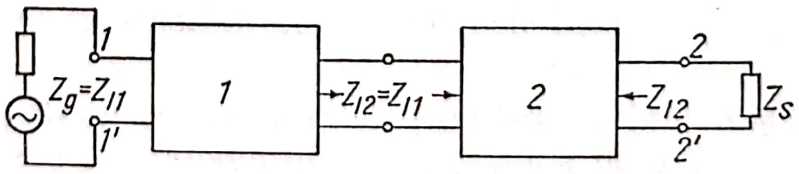


Fig. 3.78. Cuadripoli lucrînd pe bază de impedanță imagine.

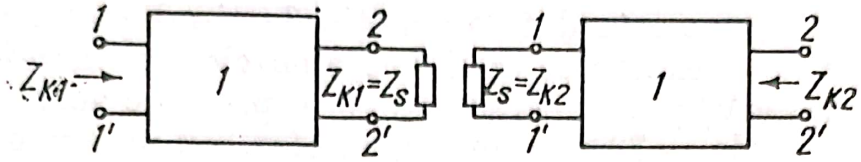


Fig. 3.79. Cuadripoli lucrînd pe bază de impedanță iterativă.

Un alt mod de lucru este cel bazat pe impedanța iterativă. Un cuadripol lucrează pe bază de impedanță iterativă, în cazul în care impedanța de intrare este egală cu impedanța conectată la ieșirea sa (fig. 3.79). Impedanța care îndeplinește această condiție se numește iterativă. Impedanțele iterative sînt, în general, diferite pentru cele două sensuri de transmisie.

Fiecare lanț electroacustic trebuie calculat în funcție de caracteristicile tehnice ale elementelor sale componente. Pentru exemplificare este ales lanțul din fig. 3.77. Parametrii amplificatoarelor și atenuatoarelor, care intră în componența sa, sînt considerați ca avînd valorile lor uzuale, și anume:

— pentru amplificatoare:

impedanța de intrare : 120 Ω;
impedanța de ieșire : 55 Ω;
impedanța sursei : 70 Ω;
impedanța de sarcină : 200 Ω;
amplificarea maximă : 70 dB;

— pentru atenuatoare :

impedanța de intrare : 250 Ω;
impedanța de ieșire : 100 Ω;
impedanța sursei : 35 Ω;
impedanța de sarcină : 500 Ω;

Calculul se întocmește pornind de la relația de bază:

$$N_i - \sum A + \sum C = N_e, \tag{3.45}$$

în care s-a notat cu

N_i — nivelul de intrare, în dB;
ΣA — suma atenuărilor în lanț, în dB;
ΣC — suma amplificărilor din lanț, în dB;
N_e — nivelul de ieșire, în dB.

Scanned with OKEN Scanner

Nivelul de intrare este dat în funcție de tipul sursei de program utilizate. Astfel, de exemplu, unui microfon electrodinamic cu o sensibilitate de 0,2 mV/ μb, îi corepunde la o presiune acustică de 1 μb un nivel de ieșire de — 72 dB; un magnetofon sau un agregat de redat discuri prezintă un nivel de ieșire de + 6 dB (tensiunea de referință: 0,775 V). În cazul în care după microfon urmează un transformator: ridicător de tensiune, metoda de calcul este următoarea: se precizează principalele caracteristici ale microfonului, cum ar fi: nivelul electric în gol, N_i', impedanța internă, R_m, rezultînd sensibilitatea $E' = E\sqrt{\frac{R_m'}{R_m}}$ (cu transformator) și deci și nivelul de intrare, care va fi:

$$N_i'' = N_i' + 10 \lg \frac{R'}{R_m}. \tag{3.46}$$

Deoarece de multe ori sensibilitatea microfonului se dă în dB V (tensiunea de referință fiind 1 V în loc de 0,775 V), formula (3.46) capătă forma:

$$N_i'' = N_i' + 10 \lg \frac{R_m'}{R_m} + 2. \tag{3.47}$$

Atenuările care intervin în lanțul electroacustic pot fi grupate în două categorii: atenuări rezultate din rețelele rezistive de adaptare și atenuări introduse de unele elemente componente ale lanțului, cum ar fi: atenuatoare, corectoare, filtre etc.

Din prima categorie fac parte și atenuările din punctele A, B, P, C și D ale lanțului indicat în fig. 3.77.

Pentru calculul atenuării în punctul A din figură rezultă că se poate utiliza relația

$$A_A = 20 \lg \frac{R_m + R_{iA}}{R_{iA}}, \tag{3.48}$$

în care: A_A este atenuarea în punctul A;

R_{iA} — impedanța de intrare în amplificatorul de „cale".

Pentru o valoare a lui $R_m = 50\ \Omega$ rezultă

$$A_A = 20 \lg \frac{50 + 120}{120} = 3 \text{ dB}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Atenuarea în punctul B se calculează ținînd seama de divizorul de tensiune format de rezistențele R_{B2}, R_{B1} și R_{iR}

$$A_B = 20 \lg \left(1 + \frac{R_{B1}}{R_{iR}} + \frac{R_{B1}}{R_{B2}}\right), \tag{3.49}$$

în care R_{iR} este impedanța de intrare în atenuatorul de „cale".

Valorile rezistențelor de adaptare sînt: $R_{B1} = 165\ \Omega$ și $R_{B2} = 40\ \Omega$. Rezultă:

$$A_B = 20 \lg \left(1 + \frac{165}{250} + \frac{165}{40}\right) \approx 15 \text{ dB}.$$

Atenuarea în punctul P al lanțului electroacustic se calculează în mod analog, relația matematică fiind următoarea:

$$A_P = 20 \lg \left(\frac{R_P}{R_{iAi}} + \frac{R''}{R_{iAi}} + \frac{R_P R''}{R' R_{iAi}}\right), \tag{3.50}$$

în care s-au notat cu

$$R' = \frac{R_P + R_{eR}}{n - 1} \text{ și } R'' = R'_P + R_{iAi},\ R_P \text{ și } R'_P$$

rezistențele de adaptare, cu R_{iAi} — impedanța de intrare a amplificatorului intermediar și cu R_{eR} — impedanța de ieșire a atenuatorului; numărul de căi a fost notat cu n. În cazul de față valoarea lui n este de 20.

Rezistențele au următoarele valori: $R_P = 475\ \Omega$, $R'_P = 40\ \Omega$, $R_{iAi} = 120\ \Omega$, iar $R_{eR} = 100\ \Omega$, rezultînd pentru atenuare valoarea:

$$A_P = 20 \lg \left(\frac{475}{120} + \frac{160}{120} + \frac{475 \cdot 160}{30 \cdot 120}\right) \approx 28 \text{ dB}.$$

Pentru calculul atenuării în punctul C se utilizează o formulă asemănătoare cu cea utilizată pentru punctul B

$$A_C = 20 \lg \left(1 + \frac{R_{C1}}{R_{1R}} + \frac{R_{C1}}{R_{C2}}\right), \tag{3.51}$$

în care, dacă se înlocuiesc valorile respective ($R_{C1} = 165\ \Omega$, $R_{C2} = 40\ \Omega$, $R_{1R} = 250\ \Omega$), se obține:

$$A_C = 15 \text{ dB}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Atenuarea în punctul D al lanțului electroacustic din fig. 3.77 se calculează cu formula

$$A_D = 20 \lg \left(1 + \frac{R_{D1}}{R_{iAG}} + \frac{R_{D1}}{R_{D2}}\right), \qquad (3.52)$$

notațiile fiind următoarele: R_{D1}, R_{D2} pentru rezistențele de inserție și R_{iAG} pentru impedanța de intrare a amplificatorului de grup. Rezistența R_{D1} are valoarea de 450 Ω, R_{D2} de 80 Ω, iar R_{iAG}, ca și în cazurile precedente, 120 Ω. În aceste condiții atenuarea în punctul D este:

$$A_D = 20 \lg \left(1 + \frac{450}{120} + \frac{450}{80}\right) \approx 20 \text{ dB}.$$

Prin urmare, suma atenuărilor ΣA, rezultate ca urmare a introducerii rezistențelor de adaptare, are valoarea

$$\sum A = A_A + A_B + A_P + A_C + A_D = 81 \text{ dB}.$$

La această valoare se adaugă atenuările de mixaj. Pentru a preciza ce se înțelege prin atenuare de mixaj trebuie arătat că reglajul dinamicii în cazul transmiterii unui program sonor se face prin intermediul celor două atenuatoare variabile din lanț (cel de „cale" și cel de „grup"). Fiecare din ele introduce în lanț o atenuare, a cărei valoare este de obicei cuprinsă între 10 și 15 dB. Prin urmare, suma atenuărilor de mixaj va fi de ordinul 20 dB și deci atenuarea totală va fi de 101 dB. Dacă la intrare se aplică un nivel de — 72 dB (tensiunea de referință fiind 0,775 V) corespunzător unui microfon cu sensibilitate de 0,2 mV/μb și unui nivel al presiunii sonore de 74 dB — raportat la presiunea de referință de $2 \cdot 10^{-4}$ μb (o voce de intensitate medie), iar la ieșire se obține un nivel mediu de — 14 dB (dinamica fiind considerată în acest caz de 40 dB și nivelul maxim de + 6 dB) și dacă se introduc aceste mărimi în relația (3.45), se găsește că valoarea lui ΣC este:

$$\sum C = N_e + \sum A - N_i = -14 + 101 + 72 = 159 \text{ dB}.$$

Amplificarea necesară (ΣC) poate fi obținută prin intermediul celor trei amplificatoare din lanțul electroacustic.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 4

Instalații de sonorizare în încăperi și în aer liber

4.1. Generalități

Așa cum s-a mai arătat, o instalație de sonorizare are drept scop să acopere un spațiu cu sunet produs prin mijloace electroacustice, respectîndu-se anumite condiții de tărie acustică și de calitate.

Obținerea unor parametri calitativ corespunzători este posibilă prin luarea în considerare, la proiectarea și la realizarea instalației, a principalilor factori care intervin în cazul unei sonorizări și anume:

— caracteristicile programului sonor transmis;
— însușirile acustice ale spațiului de sonorizat;
— procedeul utilizat pentru reproducerea sunetului;
— categoriile de surse sonore folosite;
— modul de amplasare a difuzoarelor.

De fapt acești factori constituie și principalele criterii pe baza cărora se pot clasifica instalațiile de sonorizare.

Astfel, din punctul de vedere al caracteristicilor programului sonor transmis, acestea pot fi:

— *instalații de sonorizare pentru reproducerea vorbei*;
— *instalații de sonorizare pentru reproducerea muzicii*.

Fiecare din aceste două mari categorii de instalații se pot grupa, în funcție de însușirile acustice ale spațiului de sonorizat, în:

— instalații de sonorizare în spații cu proprietăți de absorbție puternică a energiei sonore — cum este cazul celor situate în aer liber și
— instalații de sonorizare în spații mai mult sau mai puțin reflectante pentru energia sonoră, ca, de exemplu, cele utilizate în încăperi.

Scanned with OKEN Scanner

În cazul în care se ține seamă de procedeul de reproducere a sunetului, se poate considera că există:

— instalații de sonorizare realizate după procedeul de reproducere monofonic și

— instalații de sonorizare realizate după procedeul de reproducere stereofonic.

Dacă o instalație generează în exclusivitate sunetul necesar sonorizării, se consideră că face parte din categoria celor denumite *producătoare de sunet exclusiv electroacustic*. Acesta este cazul echipamentelor de sonorizare care funcționează în sălile de cinematograf, în sălile cu public din gări și aerogări, în magazine etc. De multe ori, însă, sunetul produs de instalațiile electroacustice se adaugă celui generat de alte surse sonore, neelectroacustice, cum ar fi, de exemplu, vocea sau instrumentele muzicale. Astfel de instalații, denumite *producătoare de sunet auxiliar electroacustic*, se întîlnesc frecvent în sălile de conferințe, în sălile de teatru, în cele de concert, scopul utilizării lor fiind acela de a amplifica sunetul primar.

După modul de amplasare a difuzoarelor, instalațiile pot fi grupate, de asemenea, în două categorii:

— *instalații de sonorizare cu surse concentrate*, în care difuzoarele sînt grupate în anumite puncte din încăpere, situate, de obicei, în fața ascultătorilor;

— *instalații de sonorizare cu surse distribuite*, în care difuzoarele sînt repartizate, de cele mai multe ori, uniform, pe întreaga suprafață ocupată de public.

4.2. Instalații de sonorizare în încăperi

4.2.1. *Instalații de sonorizare pentru reproducerea vorbei*

Însușirile organului vocal diferă de la persoană la persoană, existînd anumite valori medii statistice ale intensităților vocilor bărbătești și celor femeiești. Astfel, intensitatea maximă a strigătului, măsurată la distanța de 30 cm de gură, este de 0,24 $\mu W/cm^2$ ($0.24 \cdot 10^{-2} W/m^2$), ceea ce echivalează cu un nivel de 94 dB față de intensitatea sonoră de referință de $10^{-16} W/cm^2$ ($10^{-12} W/m^2$); vocea normală prezintă în medie un nivel de intensitate de 74 dB față de aceeași referință și, în fine, șoapta este de un milion de ori mai slabă, corespunzînd unui nivel de 34 dB.

Caracteristica de frecvență a organului vocal este cuprinsă, în general, în gama de frecvență 100 — 10 000 Hz, cu specificație că pentru vocale ea este limitată la aproximativ 4 000 Hz iar pentru consoane, la 10 000 Hz.

În fig. 4.1 este prezentată o diagramă, în care se indică domeniile de intensitate sonoră și de frecvență ale vocii în comparație cu cele ale muzicii.

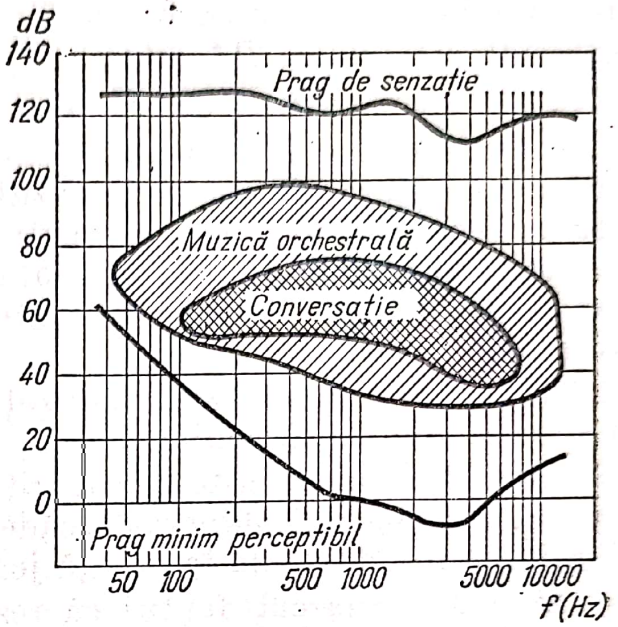


Fig. 4.1. Domeniile de frecvență și de intensitate sonoră corespunzătoare muzicii și vorbei.

Principalul scop urmărit la reproducerea vorbei printr-o instalație de sonorizare este obținerea unei bune inteligibilități. Gradul de inteligibilitate a vorbirii într-o sală se exprimă numeric prin procentul de articulație, respectiv prin raportul dintre numărul de logatomi corect auziți dintr-un număr de logatomi corect pronunțați. Logatomii sînt grupări de sunete, lipsite de înțeles, de obicei, formate din trei sunete, unul vocal încadrat de două consoane. Statistic, logatomul reproduce aspectul fonetic al limbii. De exemplu, logatomii pentru limba cehă vor fi alcătuiți în majoritate din consoane, în timp ce logatomii pentru limba italiană vor avea în componență mai mult vocale. La transmiterea vorbei, spre deosebire de transmiterea muzicii, unde ideea de calitate se împletește cu ideea de naturalețe a redării sau, cum este de cele mai multe ori denumită, de fidelitate a redării, este important să se obțină o bună inteligibilitate. Într-adevăr, în cazul efectuării unor anunțuri în sălile de așteptare ale unei aerogări, sau într-un magazin, ascultătorul nu este interesat să recunoască vocea persoanei respective, ci să înțeleagă un număr maxim de cuvinte. Sînt totuși cazuri — mai puține la număr — cînd, vorbind un conferențiar sau un actor al cărui timbru este cunoscut, este imperios necesar să se asigure condiția de fidelitate a redării sunetului.

Inteligibilitatea vocii într-o sală este influențată de mai mulți factori, fiecare dintre ei acționînd în sensul reducerii valorii procentului

de articulație. Notînd cu K_1, K_2,..., K_n acești factori, expresia procentului de articulație PA este:

$$PA = 96 \quad K_1 K_2 \ldots \quad K_n \quad [\%]. \tag{4.1}$$

Introducerea coeficientului 96 (valoare stabilită experimental) s-a dovedit necesară, deoarece, în cazul ideal în care toți factorii de reducere ar fi egali cu unitatea, procentul de articulație nu ar putea fi totuși de 100%, pentru că în mod normal apar defecțiuni inerente în pronunțarea vorbelor, iar uneori poate interveni și lipsa de atenție a ascultătorului.

În cele ce urmează sînt analizați principalii factori K de reducere a procentului de articulație PA.

Unul din factori este constituit de îngustarea gamei de frecvențe. În fig. 4.2 poate fi observată scăderea procentului de articulație prin limitarea sunetelor de frecvență joasă și înaltă.

Este de remarcat faptul că rezultatele înscrise în fig. 4.2 reprezintă valorile minime, ele fiind obținute prin experimentări realizate cu logatomi. În realitate, rezultatele sînt mai bune, deoarece în transmiterea vorbei apar totdeauna silabe cu înțeles. Mai mult, valoarea procentului PA depinde și de limba în care se vorbește. Așa cum s-a mai arătat, unele vor fi rezultatele în limba italiană, în care predomină vocalele, și altele în limba cehă, în care predomină consoanele. În general, consoanele reprezintă elementul indispensabil inteligibilității, ele generînd frecvențele cele mai înalte din spectrul vorbirii. Dispariția consoanelor sau reducerea nivelului lor de intensitate provoacă o scădere importantă a procentului de articulație.

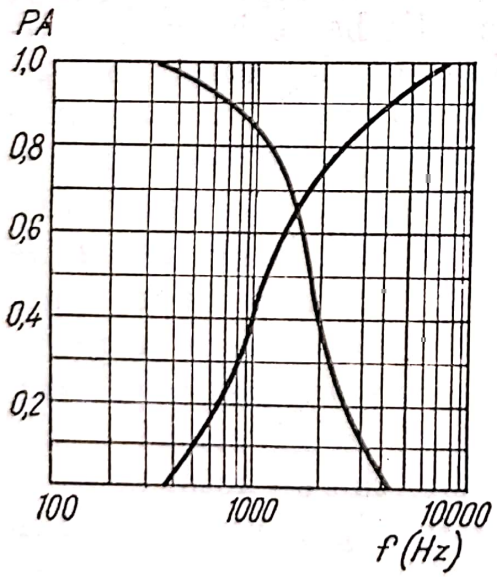


Fig. 4.2. Reducerea procentului de articulație ca urmare a îngustării caracteristicii de frecvență.

Distorsiunile neliniare pot, de asemenea, înrăutăți inteligibilitatea. De obicei, însă, echipamentele utilizate în sonorizări prezintă un factor de distorsiuni neliniare redus (de cele mai multe ori sub 1% în toată gama de frecvențe transmisă) care în nici un caz nu depășește — la majoritatea instalațiilor — valoarea de 5%. Pentru această valoare se poate considera $K = 1$. O scădere a inteligibilității apare numai cînd fac-

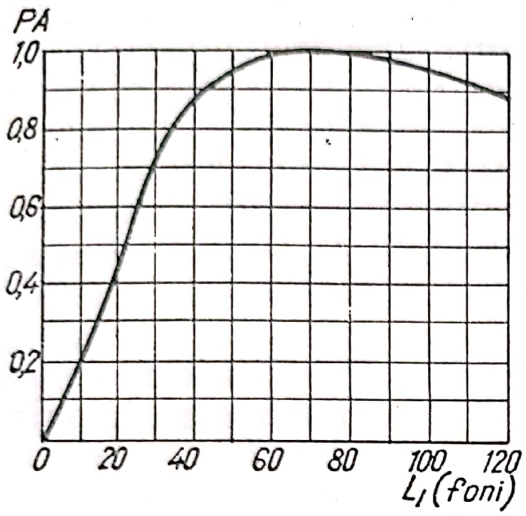


Fig. 4.3. Reducerea procentului de articulație în funcție de valoarea nivelului de intensitate sonoră.

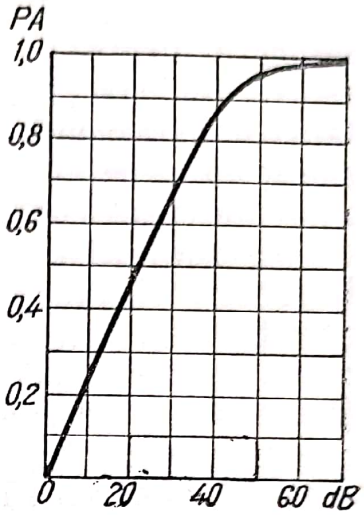


Fig. 4.4. Reducerea procentului de articulație în funcție de valoarea în dB a raportului sunet util/sunet perturbator.

torul de distorsiuni neliniare ia valori excesiv de mari, de ordinul a 15—20%.

La reducerea valorii procentului de articulație mai poate contribui și valoarea intensității sunetului. Cercetările întreprinse în această direcție au arătat că inteligibilitatea este bună cînd nivelul de intensitate sonoră este de ordinul a 70 dB (fig. 4.3). Această valoare este convenabilă cînd audiția are loc în încăperi silențioase, în care valoarea nivelului de zgomot perturbator este foarte mică.

De multe ori, însă, raportul între nivelul sunetului util și nivelul zgomotului perturbator scade și atunci, pentru a se ajunge la condițiile convenabile de audiție, nivelul de intensitate a primului trebuie mărit. În fig. 4.4 este trasată variația procentului de articulație *PA* în funcție de raportul sunet util / sunet perturbator. Se observă că pentru valori de 40 dB ale acestui raport se obține un procent de articulație de 85%.

În timpul funcționării unei instalații de sonorizare, zgomotul perturbator poate apare, fie la locul de captare a sunetului, fie la cel de redare. Evitarea efectului dăunător al zgomotului în locul captării este posibilă prin luarea unor măsuri, cum ar fi, de exemplu, apropierea microfonului de vorbitor, utilizarea unor microfoane cu caracteristică de directivitate convenabilă, introducerea unor dispozitive speciale (ecrane de vînt, în cazul în care vîntul ar genera zgomotul).

Deci, nivelul de zgomot care apare la locul redării sunetului rămîne hotărîtor în micșorarea procentului de articulație.

Efectul acțiunii zgomotului perturbator la locul reproducerii sonore, respectiv efectul de acoperire a sunetului util de către cel perturbator, este condiționat, la rîndul lui, de alți factori, printre care cei mai importanți sînt frecvența zgomotului perturbator, considerată în dependență cu cea a sunetului util, și nivelul de intensitate a zgomotului. În § 1.6.5 s-au prezentat curbele din care rezultă influența acestor factori.

O altă cauză a scăderii gradului de inteligibilitate, care apare numai la sonorizările realizate în încăperi, o constituie valoarea duratei de reverberație. Într-adevăr, dacă viteza de descreștere a nivelului de intensitate sonoră într-o încăpere este mică, nivelul produs de un impuls (o silabă a unui cuvînt) constituie nivelul acoperitor pentru impulsul care-l urmează (fig. 4.5). S-a constatat că numai în cazul în care diferența între nivelul impulsului abia format și cel al impulsului trecut este de 30 dB, inteligibilitatea poate fi considerată bună.

Aici trebuie de asemenea, să se aibă în vedere dacă reverberația se produce la locul captării sau la locul redării sunetului. Ca și în cazul reducerii procentului de articulație, datorită nivelului de zgomot, s-a constatat că la locul captării se pot lua măsuri pentru asigurarea bunei inteligibilități, fie prin apropierea microfonului de conferențiar, fie prin alegerea unor caracteristici de directivitate convenabile. În fig. 4.6 se poate observa influența valorii duratei de reverberație asupra inteligibilității unui program sonor vorbit.

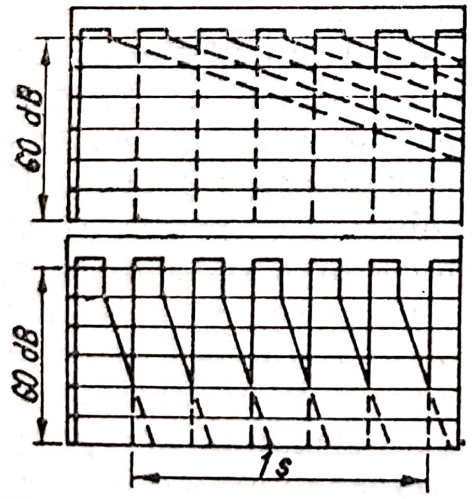


Fig. 4.5. Efectul de acoperire a impulsurilor sonore ca urmare a stabilirii unei durate mari de reverberație într-o încăpere.

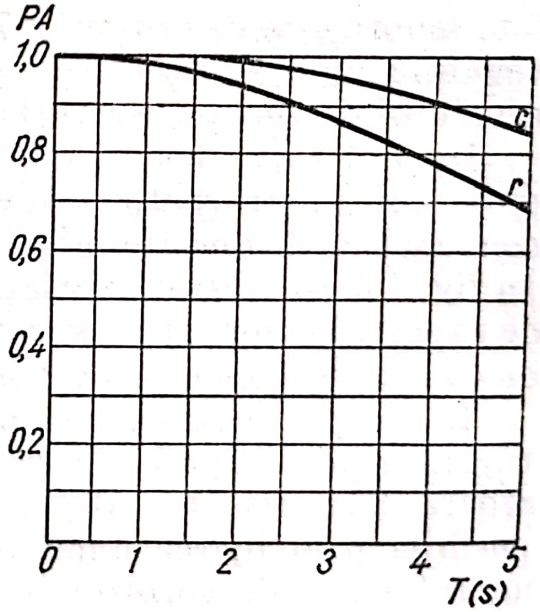


Fig. 4.6. Reducerea procentului de articulație în funcție de valoarea duratei de reverberație (*c* — caracteristica la captare; *r* — caracteristica la redare).

Scanned with OKEN Scanner

Inteligibilitatea este limitată nu numai de durata de reverberație a încăperii, ci și de viteza de vorbire. Limitarea valorii procesului de articulație, datorită vitezei de vorbire, este cu atît mai importantă, cu cît durata de reverberație este mai mare. Astfel, dacă viteza de descreștere a nivelului de intensitate sonoră este mică, un impuls sonor poate constitui nivelul acoperitor pentru impulsul următor. Numai dacă nivelul celui de al doilea impuls depășește pe al primului cu aproximativ 30 dB, inteligibilitatea nu are de suferit. Un exemplu de calcul va fi concludent în această privință. Considerînd situația din fig. 4.5, se poate scrie că viteza de descreștere a impulsurilor sonore (care alcătuiesc silabele) în încăperea cu o durată de reverberație T este $V = \frac{60}{T}$ dB/s și, considerînd că intervalul între două impulsuri este τ, rezultă că

$$V\tau = \frac{60}{T}\tau = 30, \tag{4.2}$$

de unde se obține $T = 2\tau$.

Considerînd că vorbirea rapidă este caracterizată printr-o viteză de 7,5 silabe/s, una normală prin viteza de 5 silabe/s și una lentă printr-o succesiune de 3,5 silabe/s, rezultă că în cazul în care se vorbește repede, cu pauze între silabe de 0,15 s, durata admisibilă a reverberației este $T = 2 \times 0{,}15$ s $= 0{,}3$ s pe cînd, în cazul în care se vorbește rar, cu pauze între silabe de 0,3 s, durata de reverberație admisibilă este $T = 2 \times 0{,}3$ s $= 0{,}6$ s. Aceste constatări conduc la concluzii interesante și anume: în hala unei uzine, în care se fac anunțuri prin intermediul unei instalații de sonorizare și în care nu s-au luat măsuri speciale de tratare acustică, este necesar să se recomande vorbitorului să rostească cuvintele cît mai rar (viteza cea mai indicată fiind de maximum 3—3,5 silabe/s) pentru a obține o inteligibilitate acceptabilă. Tot de aici mai rezultă că inteligibilitatea este aceeași într-o hală în care se vorbește cu viteza de 3—3,5 silabe/s cu cea dintr-o sală de ascultare în care se vorbește cu viteza de 5—6 silabe/s.

Din cele arătate se poate constata că factorii de reducere a procentului de articulație pot fi grupați în trei categorii, și anume:

1) factori care depind de instalația de sonorizare (caracteristica de frecvență, factorul de distorsiuni neliniare, nivelul de intensitate sonoră);

Scanned with OKEN Scanner

2) factori care depind de încăpere (durata de reverberație, izolarea fonică);

3) factori care sînt independenți de instalație sau de proprietățile acustice ale încăperii (nivelului de zgomot înconjurător, viteza cu care se succed cuvintele).

Valorile fiecărui factor, rezultate fie din curbele indicate în acest capitol, fie din experimentări, se introduc în relația (4.1), obținîndu-se astfel valoarea procentului de articulație PA.

Se poate aprecia că un procent de articulație superior lui 85% caracterizează încăperile care prezintă condiții foarte bune de audibilitate. Cînd PA este cuprins între 75 și 85% audibilitatea este bună, cînd este cuprins între 65% și 75% — ascultarea devine obositoare, iar sub 65% — în încăperea respectivă sînt condiții rele de audibilitate.

Determinarea puterii electrice a instalației. Trebuie să se precizeze de la început că trecerea la calculul puterii electrice a unei instalații cu sunet auxiliar electroacustic se poate face numai după ce în prealabil s-a verificat că sursa sonoră — voce sau instrument — nu asigură puterea acustică suficientă pentru a acoperi cu sunet, în condiții de calitate corespunzătoare, întreaga suprafață ocupată de ascultători.

Verificarea prin calcul se face ținînd seamă și de proprietățile acustice ale încăperii, adică la densitatea de energie w_D [v. relația (2.43)], care se datorește sunetului direct, trebuie să se adauge densitatea de energie w_R [v. relația (2.44)] produsă de sunetul reflectat de pereții încăperii. În relația (2.44) intervine constanta încăperii R, definită prin expresia:

$$R = \frac{S\bar{\alpha}}{1-\bar{\alpha}}, \qquad (4.3)$$

în care: S este suprafața interioară a încăperii, în m²;

$\bar{\alpha}$ — coeficientul mediu de absorbție a sunetului.

Pentru stabilirea relațiilor (2.43) și (2.44) s-a considerat că sursa sonoră este nedirectivă. În ceea ce privește expresia (2.44), aceasta îl conține pe R, care este funcție de $\bar{\alpha}$. Dar, așa cum s-a arătat în § 2.2, α este, la rîndul său, funcție de suprafața interioară a pereților încăperii. Se observă, deci, că energia sonoră reflectată depinde, prin intermediul lui R, de volumul încăperii.

Pornind de la aceste relații, se poate determina densitatea totală de energie w_T, care reprezintă suma densităților de energie directă și reflectată și, în funcție de aceasta, se obține expresia matematică a puterii

acustice $\mathcal{P}_a$ [v. relația (2.47)]. Dacă în loc de putere se introduce nivelul de putere $L_{\mathcal{P}}$, se ajunge la forma:

$$L - L_{\mathcal{P}} = 10 \lg \left(\frac{Q_D}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) - 10, \qquad (4.4)$$

în care:

L este nivelul de presiune sonoră, în dB;
$L_{\mathcal{P}}$ — nivelul de putere acustică, în dB;
Q_D — factorul de directivitate;
r — distanța între sursă și ascultător, în m;
R — constanta încăperii.

În felul acesta se poate calcula puterea acustică necesară obținerii unui anumit nivel de presiune sonoră în încăpere. Pentru determinări rapide se poate utiliza nomograma din fig. 4.7, în care s-a considerat $Q_D = 1$.

Exemplu de calcul (utilizarea nomogramei din fig. 4.7). Considerînd o încăpere cu volumul de 200 m³ și cu o durată de reverberație de 0,6 s, să se precizeze cu ce nivel de putere trebuie să vorbească un conferențiar pentru a crea în cel mai îndepărtat punct un nivel de presiune acustică de 70 dB.

Utilizînd relația (4.3), se poate determina constanta încăperii R. Pentru un coeficient de absorbție $\bar{\alpha} = 0{,}03 \ldots 0{,}04$, rezultă $R \approx 100$. Dacă se ia pentru dimensiunile încăperii un raport obișnuit de 2 : 3 : 5 (adică 3,76 m : 5,64 m : 9,40 m), se obține o distanță maximă între sursa sonoră și ascultător de aproximativ 9,80 m. Luînd pe abscisa nomogramei valoarea $r = 9{,}8$ m și utilizînd curba $R = 100$, se obține pe ordonată, pentru diferența $L - L_{\mathcal{P}}$, valoarea de — 24 dB. Deci ca în încăpere să se obțină un nivel de presiune de 70 dB, este necesar un nivel de putere acustică de 94 dB. Raportînd valoarea de 94 dB la puterea de referință $\mathcal{P}_{a_{ref}} = 10^{-12}$ W, rezultă o putere acustică de aproximativ 2,4 mW. Această valoare reprezintă echivalentul în putere al unei voci foarte puternice.

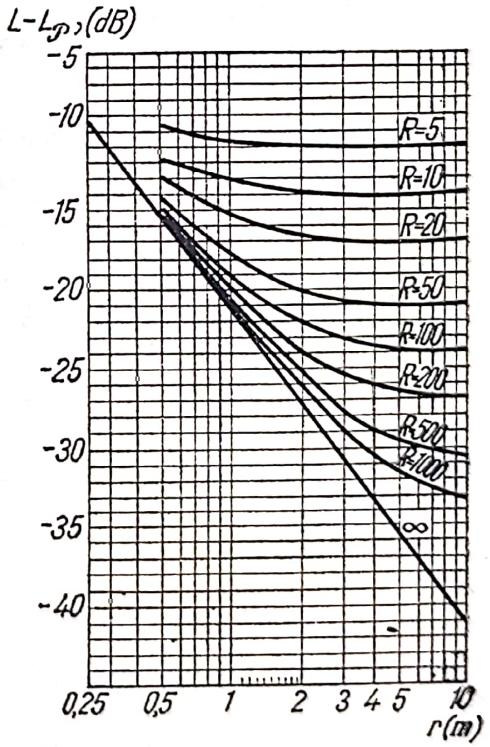


Fig. 4.7. Nomogramă pentru calculul nivelului de presiune L.

Numai într-un astfel de caz, cînd se constată că persoana care vorbește ar trebui să facă eforturi pentru a putea acoperi cu sunet suprafața ocupată de ascultători, sau în cazul extrem, cînd nu poate acoperi efectiv această suprafață, este necesară o instalație de sonorizare, putîndu-se astfel trece la calculul ei.

Relația de calcul rămîne tot (4.4), cu următoarea precizare: cu toate că nivelul optim de presiune acustică pentru vorbă este de 70 dB, nu se recomandă introducerea în formulă a acestei valori, deoarece în practică se dovedește necesar să existe și o rezervă de putere, care ar putea fi utilizată în cazul apariției unor zgomote perturbatoare neprevăzute. Așadar, valoarea cu care va fi înlocuit L este de 90 dB.

Exemplu de calcul. Să se determine puterea electrică necesară sonorizării unei încăperi avînd volumul de 2 000 m³ și o durată de reverberație de 1,1 — 1,2 s.

Pentru simplificare se va considera că sursa sonoră este nedirectivă și deci $Q_D = 1$. Luînd ca și în cazul precedent un raport între dimensiuni de 2 : 3 : 5 (echivalent cu o lungime a încăperii de 20,30 m, o lățime de 12,18 m și o înălțime de 8,12 m), se determină distanța maximă între sursa sonoră și ascultător $r = 21$ m.

Coeficientul mediu de absorbție $\bar{\alpha}$ fiind, de asemenea, $\bar{\alpha} = 0{,}5$, se calculează constanta încăperii $R = 500$. Înlocuind toate aceste valori în relația (4.4), se determină nivelul de putere acustică necesară

$$L_{\mathcal{P}} = 90 + 10 - 10 \lg \left(\frac{1}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 21^2} + \frac{4}{500} \right) \approx 121 \text{ dB}.$$

Raportînd valoarea obținută la puterea de referință $\mathcal{P}_{a\,ref} = 10^{-12}$ W și ținînd seamă că $L_{\mathcal{P}} = 10 \lg \frac{\mathcal{P}_a}{\mathcal{P}_{a\,ref}}$, rezultă $\mathcal{P}_a = 1{,}25$ W.

Pentru determinarea puterii electrice $\mathcal{P}_e$ a sursei sonore, respectiv a difuzorului se utilizează relația:

$$\mathcal{P}_e = \frac{\mathcal{P}_a}{\eta}, \tag{4.5}$$

în care η este randamentul difuzorului.

Admițînd, în general, un randament de 2% pentru difuzoarele cu radiație directă și de aproximativ 25% pentru difuzoarele cu pîlnie, rezultă $\mathcal{P}_e = 62{,}5$ W. Așa cum s-a mai arătat, în calcul s-a considerat pentru simplificare $Q_D = 1$, ceea ce înseamnă fie că ascultătorul se află situat în axa de simetrie a difuzorului, fie că sursa nu este directivă. Pentru determinări mai exacte se vor introduce în formulele de calcul valori reale ale lui Q_D, corespunzătoare caracteristicii de directivitate a sursei sonore utilizate și, de asemenea, un randament determinat pe cale experimentală sau indicat de fabricant.

Scanned with OKEN Scanner

Amplasarea difuzoarelor. După determinarea puterii electrice, se trece la o a doua etapă, aceea de fixare a locului fiecărui difuzor în parte. Amplasamentul difuzoarelor prezintă o importanță deosebită, deoarece condiționează în mare măsură reușita unei sonorizări. O sursă sonoră greșit amplasată poate avea una din următoarele consecințe: apariția unor ecouri, modificarea poziției imaginii sonore, apariția reacției acustice, crearea unor neuniformități neplăcute ale nivelului de intensitate sonoră. Toate aceste motive fac necesară acordarea unei atenții deosebite amplasării difuzoarelor.

S-a precizat la începutul acestui capitol că există două principale moduri de amplasare: difuzoarele sînt concentrate în anumite puncte și difuzoarele sînt distribuite. Totuși un mod de amplasare nu exclude pe celălalt, în practică existînd numeroase cazuri de instalații de sonorizare la care s-a utilizat atît sistemul cu difuzoarele concentrate cît și cel cu difuzoarele distribuite. Este necesar să se menționeze că nu se poate face combinarea celor două moduri de amplasare decît după luarea unor măsuri prealabile, care să nu permită apariția unor întîrzieri în propagarea sunetului emis de diferitele surse din încăpere.

Oricare ar fi însă varianta aleasă, trebuie, de asemenea, să se îndeplinească condițiile de uniformitate a nivelelor de intensitate sonoră, de păstrare a senzației de direcție a originii sunetului, de evitare a reacției acustice.

Obținerea unei intensități sonore uniformă pe toată suprafața ocupată de ascultători este una din cerințele de bază pentru realizarea sonorizărilor. Ea este îndeplinită prin folosirea proprietăților directive ale sursei sonore, prin alegerea unei înălțimi și înclinări convenabile.

Aprecierea neuniformității intensității sonore implică cunoașterea valorii indicelui ΔL al „neuniformității de sonorizare". Acest indice poate fi definit ca diferența maximă între nivelele de intensitate sonoră observate *în același timp* pe suprafața sonorizată. Dacă se notează cu $L_{I\,max}$ nivelul maxim în timp al intensității sonore și cu $L_{I\,min}$ nivelul minim al acesteia, iar cu $\mathcal{D}$ dinamica nivelelor sunetelor ce sînt reproduse, atunci ΔL poate fi exprimat prin relația:

$$L_{I\,max} - L_{I\,min} = \Delta L + \mathcal{D}. \qquad (4.6)$$

Această relație, care arată că diferența dintre nivelul maxim și cel minim *pe toată durata reproducerii sunetului* este egală cu valoarea dinamicii la care se adaugă neuniformitatea ΔL, poate fi stabilită plecînd și de la următoarele ipoteze:

Scanned with OKEN Scanner

— neuniformitatea sonorizării nu trebuie să depășească o valoare anumită ΔL;

— echipamentul de sonorizare trebuie astfel dimensionat, încît nivelul intensității sonore să nu coboare sub o anumită valoare $L_{I\,min}$ prestabilită. În acest caz dacă se notează cu L_I nivelul de intensitate sonoră într-un punct de minim, acesta trebuie să îndeplinească condiția:

$$L_I = L_{I\,min} + \mathcal{D} = L_{I\,max} - \Delta L. \tag{4.7}$$

Relația (4.7) arată că nivelul de intensitate sonoră într-un punct oarecare de pe suprafața sonorizată trebuie să fie suficient de mare pentru a asigura și reproducerea întregii game dinamice $\mathcal{D}$. Nivelele $L_{I\,max}$ și $L_{I\,min}$ trebuie, de asemenea, judicios precizate. Astfel, nivelul $L_{I\,max}$ nu poate fi stabilit la o valoare oricît de mare, deoarece poate atinge pragul de durere, iar nivelul minim se stabilește în funcție de nivelul de zgomot perturbator din interiorul încăperii.

Obținerea unui indice ΔL de valoare minimă este posibilă, în general, numai prin utilizarea unor surse sonore directive. Într-adevăr, în cazul surselor nedirective, notînd cu $P_{ef\,max}$ și $P_{ef\,min}$ presiunea acustică maximă și, respectiv, minimă, obținută în același timp de suprafața sonorizată, se poate scrie că raportul presiunilor acustice în decibeli are următoarea expresie:

$$L = 20\ \lg \frac{P_{ef\,max}}{P_{ef\,min}} = 20\ \lg \frac{r_{max}}{r_{min}}, \tag{4.8}$$

unde r_{max} și r_{min} sînt distanțele maximă și, respectiv, minimă între sursa sonoră și ascultător.

Obținerea unei suprafețe maxime sonorizate este posibilă numai dacă raportul $\frac{r_{max}}{r_{min}}$ este maxim, ceea ce presupune însă și o valoare mare pentru ΔL. De aici rezultă că mărirea suprafeței sonorizate este posibilă în cazul surselor nedirective numai în condițiile scăderii calității, respectiv a măririi neuniformității nivelelor de intensitate sonoră. În plus, utilizarea surselor sonore nedirective presupune și o pierdere considerabilă din puterea acustică radiată, sunetul fiind împrăștiat și în alte direcții decît în cele care ar favoriza suprafața ocupată de ascultători. Practica a arătat că denivelări de intensitate sonoră de ± 6 dB sînt considerate caracteristice pentru amplasamentele reușite de difuzoare.

În fig. 4.8 este prezentat un exemplu de amplasament al unei coloane cu difuzoare, în care nivelele de intensitate sonoră produse de conferențiar (o) și de coloană (c), se compensează reciproc, stabilindu-se pe întreagă suprafață o intensitate sonoră constantă (p).

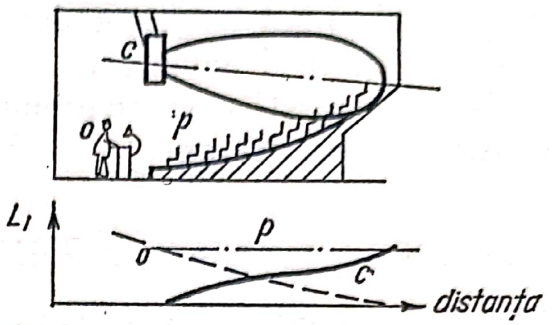


Fig. 4.8. Amplasamentul unei surse sonore concentrate în cazul unei instalații cu sunet auxiliar electroacustic.

Evitarea reacției acustice este, de asemenea, o condiție necesară pentru realizarea unei sonorizări de calitate. La o instalație cu sunet auxiliar electroacustic există, de cele mai multe ori, pericolul de apariție a acestei reacții, care se manifestă printr-un fluierat puternic, specific. Reacția acustică apare ori de cîte ori între difuzor și microfon există un drum de legătură. Considerînd situația din fig. 4.9, în care s-a reprezentat schematic un lanț de amplificare, compus din microfon, amplificator și difuzor și notînd cu P_{ef1} — presiunea produsă de sursa sonoră primară în fața microfonului și cu P_{ef2} — presiunea creată de difuzor în fața microfonului, sistemul este stabil și deci nu intră în reacție dacă este îndeplinită condiția:

$$P_{ef2} = \beta (P_{ef1} + P_{ef2}) \cdot \quad (4.9)$$

Factorul de proporționalitate β este denumit coeficient de reacție. Din relația (4.9) rezultă că

$$P_{ef2} = P_{ef1} \frac{\beta}{1 - \beta} \quad (4.10)$$

și deci condiția de stabilitate este:

$$\beta < 1 \cdot \quad (4.11)$$

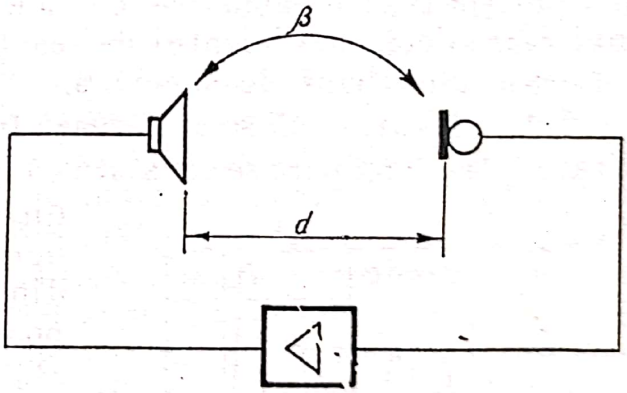


Fig. 4.9. Producerea reacției acustice.

Coeficientul de reacție este o mărime complexă, a cărei fază Φ variază atît în funcție de frecvență (pulsația ω) cît și în funcție de distanța d dintre microfon și difuzor

$$\Phi = \Phi' + \frac{\omega d}{c}, \quad (4.12)$$

unde Φ' reprezintă diferența de fază între semnalele acustice datorite lanțului electroacustic.

De aici se pot trage concluzii interesante referitoare la posibilitatea apariției reacției acustice.

Reacția acustică apare numai la anumite frecvențe pentru care este satisfăcută egalitatea

$$\frac{\omega d}{c} + \Phi' = 2n\pi,$$

în care n are valorile 0, 1, 2 etc. Pentru a ilustra acest fapt, în fig. 4.10 s-a prezentat caracteristica de frecvență a unui lanț electroacustic de sonorizare în care $d = 48$ m. Cu linie întreruptă s-a trasat caracteristica fără reacție, iar cu linie plină cea care se obține în cazul existenței unei reacții acustice.

Reacția acustică depinde de distanța între difuzor și microfon sau, mai corect spus, de poziția microfonului față de difuzor. Rezultă de aici că amplasamentul acestor două elemente ale instalației de sonorizare devine uneori critic; schimbarea poziției unuia din ele față de celălalt poate îndepărta sau, din contra, poate provoca apariția reacției acustice.

În cele arătate anterior nu a fost luată în considerare și contribuția sunetului reflectat. Reverberația încăperilor joacă un rol important în apariția reacției acustice, coeficientul de reacție în încăperi β_1 fiind mai mare decît coeficientul de reacție în aer liber (sau într-un spațiu puternic absorbant de sunet) β.

Într-adevăr, dacă se analizează funcționarea unei instalații de sonorizare într-o încăpere se constată că la microfon sosesc, în afară de unda directă produsă de sursa sonoră, și undele reflectate de pereți. Acestea din urmă vor avea faze diferite. Se poate deci scrie că presiunea efectivă P'_{ef} în fața microfonului este:

$$P'_{ef} = \sqrt{P^2_{ef1} + P^2_{ef2}}, \qquad (4.13)$$

unde:

P_{ef1} este presiunea creată de sursa de sunet;

P_{ef2} — presiunea creată de sunetul direct sosit de la difuzor și de reflecțiile din încăpere.

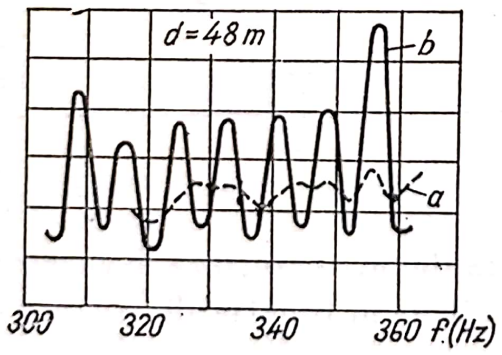


Fig. 4.10. Caracteristica de frecvență a unui lanț electroacustic în cazul apariției reacției acustice:
a—în lipsa reacției acustice;
b—în cazul apariției reacției acustice.

Dacă se notează cu $\bar{\alpha}$ coeficientul mediu de absorbție sonoră a încăperii și cu P_{efd} presiunea efectivă în unda directă, se poate scrie egalitatea:

$$P^2_{ef2} = \frac{P^2_{efd}}{\bar{\alpha}}. \quad ^{1)} \tag{4.14}$$

Ecuația care definește reacția acustică se poate pune sub forma:

$$P^2_{efd} = \beta_1^2 (P^2_{ef1} + P^2_{ef2}) \tag{4.15}$$

sau, ținînd seamă de (4.14):

$$P^2_{ef2} = \frac{\beta_1^2}{\bar{\alpha}} (P^2_{ef1} + P^2_{ef2}). \tag{4.16}$$

Dacă se compară relațiile (4.9) și (4.16), se observă că se poate scrie cu suficientă exactitate egalitatea:

$$\beta_1 = \frac{\beta}{\sqrt{\bar{\alpha}}}. \tag{4.17}$$

Această relație arată că β_1 este totdeauna mai mare decît β, deoarece $\bar{\alpha}$ este, după cum se știe, subunitar.

Surse sonore concentrate. Reușita unei sonorizări este condiționată și de păstrarea senzației de direcție. Aceasta înseamnă că ascultătorul preferă să recepționeze sunetul din aceeași direcție din care observă sursa sonoră. Este neplăcut pentru auditorul, care se găsește într-o sală de concert sau de teatru, să vadă instrumentul muzical sau actorul pe scenă, iar sunetul să-l audă venind din plafon sau dintr-unul din pereții laterali, sau mai ales din spatele său. Acesta este unul din motivele pentru care se utilizează, de multe ori surse sonore concentrate, amplasate în aceeași direcție cu sursa de sunet originală. În plus, dacă se ține seamă de caracteristicile de directivitate ale unor astfel de surse (cum ar fi, de exemplu, coloanele cu difuzoare), avantajul utilizării lor apare cu atît mai evident. Spre deosebire de sursele nedirective care asigură sonorizarea unor suprafețe mari numai în condițiile unei neuniformi-

[1]) Această relație rezultă din însumarea undei directe cu undele sonore reflectate:

$$P^2_{ef2} = P^2_{efd} + P^2_{efd}(1 - \bar{\alpha}) + P^2_{efd}(1 - \bar{\alpha})^2 + \ldots = \frac{P^2_{efd}}{\bar{\alpha}}.$$

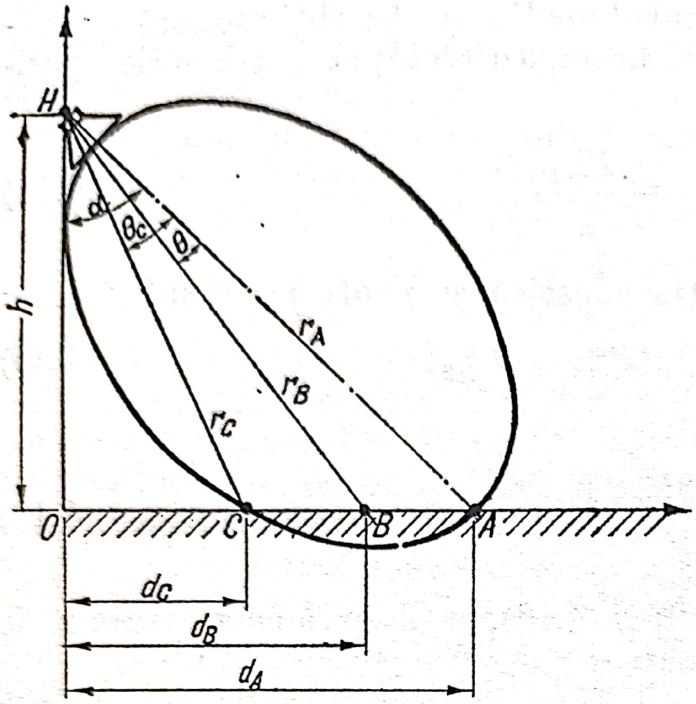


Fig. 4.11. Precizarea elementelor pentru calculul neuniformității de sonorizare.

tăți excesiv de mari a nivelului de intensitate și a unei pierderi importante de energie sonoră, în cazul surselor concentrate și directive, aceste inconveniente dispar. După cum s-a arătat în capitolul precedent, caracteristica de directivitate a unei surse sonore este definită prin relația:

$$D\,(\theta) = \frac{P_\theta}{P_0}. \qquad (4.18)$$

În fig. 4.11 este arătată caracteristica de directivitate a unei surse sonore.

Punctele A și C sînt situate pe caracteristică și pe suprafața sonorizată, iar B este un punct de pe această suprafață. În toate punctele de pe segmentul AC, respectiv de pe suprafața care conține acest segment, și care reprezintă intersecția elipsoidului cu un plan, presiunea sonoră are o valoare mai mare decît P_0 (P_0 este presiunea din punctul A), fapt care rezultă și din relația:

$$P_B = P_0\, D(\theta)\, \frac{r_A}{r_B}. \qquad (4.19)$$

Raportul $\frac{r_A}{r_B}$ poate fi exprimat în funcție de parametrii prin care sînt precizate orientarea și amplasamentul difuzorului, adică unghiul față de verticală α și înălțimea h față de pardoseala sălii. În aceste condiții

$$r_A = \frac{h}{\cos\alpha} \text{ și } r_B = \frac{h}{\cos\,(\alpha - \theta)}. \qquad (4.20)$$

Înlocuind expresiile (4.20) în relația (4.19), se determină funcția care definește repartiția presiunilor acustice pe segmentul AC:

$$\mathcal{R}\,(\alpha) = \frac{P_B}{P_0} = D\,(\theta)\,\frac{\cos\,(\alpha - \theta)}{\cos\alpha}. \qquad (4.21)$$

Punctele A și C sînt caracterizate prin presiune sonoră minimă. Neuniformitatea de sonorizare va fi determinată de valoarea maximă a funcției $\mathcal{R}(\theta)$

$$\Delta L = 20 \lg \mathcal{R}_{max}. \tag{4.22}$$

$\mathcal{R}_{max}$ se obține, înlocuind rădăcinile derivatei $\frac{d\mathcal{R}}{d\theta}$ în egalitatea (4.21.)

Din cele arătate se poate trage concluzia că, prin alegerea unei caracteristici de directivitate, a unei înălțimi și a unui unghi în mod convenabil, astfel încît fasciculul sonor să urmărească profilul suprafeței ocupate de ascultători, se obțin neuniformități de sonorizare ΔL foarte mici.

Pentru clarificarea noțiunilor prezentate anterior vor fi date două exemple de calcul al neuniformității: în primul exemplu sonorizarea se realizează cu un singur difuzor, iar în cel de-al doilea, suprafața de sonorizat fiind mai întinsă, sînt necesare două difuzoare.

Exemplu de calcul 1. Să se calculeze neuniformitatea de sonorizare pentru un difuzor cu pîlnie.

Caracteristica de directivitate a unui astfel de difuzor este reprezentată în secțiune, cu destul de bună aproximație, de o elipsă, așa cum rezultă de altfel și din fig. 4.12. Ecuația acestei elipse este:

$$D(\theta) = \frac{(1 - \varepsilon^2)\cos\theta}{1 - \varepsilon^2 \cos\theta}, \tag{4.23}$$

unde

$$\varepsilon = \sqrt{1 - \left(\frac{b}{a}\right)^2}$$

reprezintă excentricitatea elipsei, mărime ce depinde de frecvența de lucru și de mărimea orificiului de ieșire al pîlniei.

În fig. 4.13 este arătată dependența raportului $\frac{b}{a}$ de raportul frecvențelor $\frac{f}{f_c}$ pentru diferite valori ale parametrului δ definit prin relația:

$$\delta = \frac{\lambda_c}{d}, \tag{4.24}$$

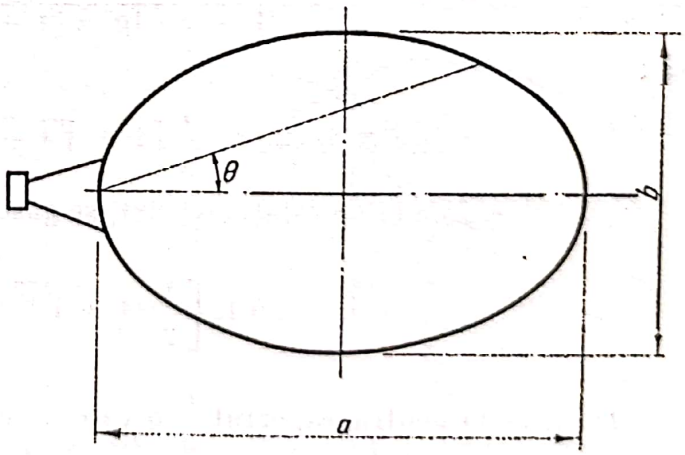


Fig. 4.12. Caracteristica de directivitate a unui difuzor cu pîlnie.

în care:

λ_c este lungimea de undă corespunzătoare frecvenței de tăiere a pîlniei (în m sau cm);

d — diametrul gurii pîlniei (în m sau cm).

Înlocuind în relația (4.24) λ_c cu $\frac{4\pi}{m}$, se obține $\delta = \frac{4\pi}{md}$, unde m reprezintă un coeficient care depinde de forma pîlniei.

În fig. 4.13 se observă că pentru $\delta = 3$ există o gamă de frecvențe suficient de întinsă $\left(\frac{f}{f_c} = 6 \text{ pînă la } 23\right)$, în care raportul $\frac{b}{a}$ este cvasiconstant. Rezultă că pentru toate aceste frecvențe, caracteristica de directivitate își păstrează forma.

Pentru a determina funcția de repartiție a presiunilor sonore, se înlocuiește expresia (4.23) în (4.21), obținîndu-se:

$$\mathcal{R}(\theta) = (1 - \varepsilon^2)\frac{1 + \operatorname{tg}\alpha \operatorname{tg}\theta}{1 - \varepsilon^2 + \operatorname{tg}^2\theta}, \tag{4.25}$$

din care rezultă unghiul θ (prin rezolvarea ecuației $\frac{d\mathcal{R}}{d\theta} = 0$).

Unghiul pentru care $\mathcal{R}(\theta)$ este maxim este dat prin egalitatea

$$\operatorname{tg}\theta = -\frac{1}{\operatorname{tg}\alpha}\left[1 - \sqrt{1 + (1 - \varepsilon^2)\operatorname{tg}^2\alpha}\right]. \tag{4.26}$$

Înlocuind (4.26) în (4.25), se obține, după efectuarea unor operații succesive, valoarea maximă a lui $\mathcal{R}(\theta)$

$$\mathcal{R}(\theta)_{max} =$$

$$= \frac{1}{2}\frac{(1-\varepsilon^2)\operatorname{tg}^2\alpha\left[\sqrt{1+(1-\varepsilon^2)\operatorname{tg}^2\alpha} + (1-\varepsilon^2)\operatorname{tg}^2\alpha\sqrt{1+(1-\varepsilon^2)\operatorname{tg}^2\alpha}+[1+(1-\varepsilon^2)\operatorname{tg}^2\alpha]\right]}{(1-\varepsilon^2)\operatorname{tg}^2\alpha\,[1+(1-\varepsilon^2)\operatorname{tg}^2\alpha]}$$

sau

$$\mathcal{R}(\theta)_{max} = \frac{1}{2}\left[1 + \sqrt{1 + (1 - \varepsilon^2)\operatorname{tg}^2\alpha}\right]. \tag{4.27}$$

Ținînd seamă și de relația (4.22), se găsește valoarea neuniformității

$$\Delta L = 20 \lg\left[\frac{1}{2}\left(1 + \sqrt{1 + (1 - \varepsilon^2)\operatorname{tg}^2\alpha}\right)\right]. \tag{4.28}$$

Dacă se ia pentru raportul $\frac{b}{a}$ o valoare convenabilă (citită pe caracteristicile din fig. 4.13), de exemplu $\frac{b}{a} = 0{,}45$, rezultă $\varepsilon = 0{,}9$.

În continuare pot apărea două situații: — sau este precizată înălțimea la care este amplasat difuzorul și distanța OA și în acest caz trebuie să se determine ΔL, sau se impun prin condițiile de calitate valoarea lui ΔL și, prin numărul de ascultători, suprafața de sonorizat, urmînd să se calculeze înălțimea la care este montat difuzorul și înclinația față de peretele pe care este fixat.

Dacă se consideră cazul cel mai întîlnit în practică cînd se impune neuniformitatea de sonorizare ΔL, urmărind să se determine amplasamentul sursei sonore, procedeul de calcul este următorul: se înlocuiește în relația (4.28) valoarea lui ΔL, în cazul de față 6 dB, și se calculează tg α. Rezultă tg $\alpha = \sqrt{40} = 6{,}3$. Dar tg $\alpha = \frac{d_A}{h}$. Prin urmare, cunoscînd mărimea suprafeței ocupate de public, respectiv d_A, se obține h. Pentru exemplul de calcul ales, la o neuniformitate de sonorizare $\Delta L = 6$ dB și pentru $d_A = 63$ m, rezultă înălțimea la care trebuie montat difuzorul $h = 10$ m.

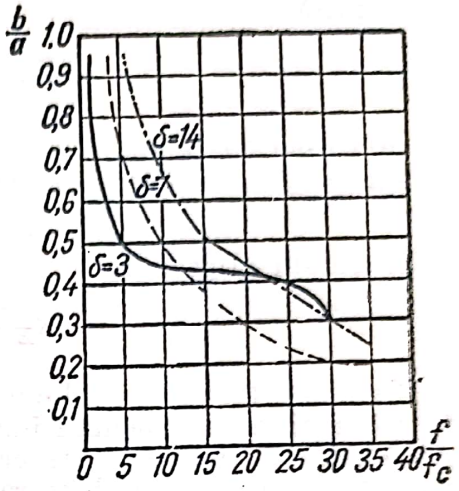


Fig. 4.13. Dependența raportului $\frac{b}{a}$ de valoarea raportului frecvențelor $\frac{f}{f_c}$ pentru diferite valori ale parametrului $\delta = \frac{\lambda_c}{d}$.

Mai rămîne să se calculeze mărimea suprafeței sonorizate (fig. 4.14). În acest scop se ține seamă de ecuația repartiției presiunilor sonore (4.25), particularizînd-o pentru unghiul θ_C corespunzător punctului C. Condiția ca presiunea în punctul C să fie egală cu cea din punctul A, este

$$\mathcal{R}(\theta_C) = 1. \tag{4.29}$$

Înlocuind această valoare în relația (4.25), se obține:

$$\text{tg } \theta_c = (1 - \varepsilon^2) \text{ tg } \alpha. \tag{4.30}$$

Dacă se notează cu a_s și b_s axele elipsei de pe suprafața încăperii care se sonorizează, se poate calcula:

$$\frac{d_A - d_C}{h} = \frac{a_s}{h} = \text{tg } \alpha - \text{tg } (\alpha - \theta_c)$$

sau

$$a_s = \frac{d_A (1 - \varepsilon^2)}{1 - \varepsilon^2 \sin^2 \alpha}. \tag{4.31}$$

Pentru a determina și axa mică b_s a elipsei se consideră relația

$$b_s = a_s \sqrt{1 - \varepsilon'^2},$$

în care $\varepsilon' = \varepsilon \sin \alpha$ este excentricitatea elipsei de pe suprafața sonorizată.

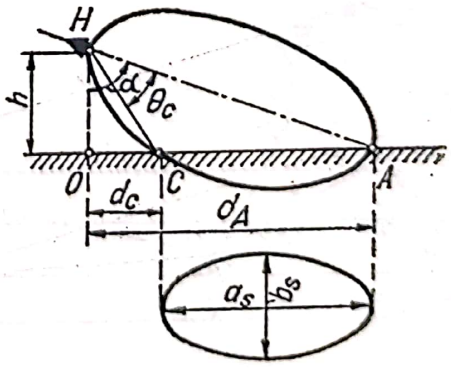


Fig. 4.14. Calculul suprafeței sonorizate cu un difuzor cu pîlnie.

Rezultă:

$$b_s = \frac{d_A\,(1-\varepsilon^2)}{\sqrt{1-\varepsilon^2\sin^2\alpha}}. \qquad (4.32)$$

Înlocuind în relațiile (4.31) și (4.32) valorile determinate anterior $\varepsilon = 0{,}9$ și $\sin^2\alpha = 0{,}97$, se obține mărimea axelor elipsei:

$$a_s = 57 \text{ m și } b_s = 27 \text{ m}.$$

Suprafața elipsei este

$$S_E = \frac{\pi}{4} a_s b_s = 1\,208 \text{ m}^2.$$

Exemplu de calcul 2. Se presupune că suprafața ce trebuie sonorizată este mai mare și nemaifiind suficient un singur difuzor, se impune utilizarea a două sau mai multor difuzoare. În acest caz calculul neuniformității este mai complicat. Pentru exemplificare se vor considera două difuzoare cu pîlnie, avînd axele paralele. Examinarea altor cazuri similare se poate face în mod analog.

Dacă pentru simplificare nu se ține seamă de interferențele ce pot avea loc și dacă se consideră un punct oarecare P de coordonate x și y (fig. 4.15), presiunile efective P_{ef1} și P_{ef2} create în acel punct de difuzoarele D_1 și D_2 sînt:

$$P_{ef1} = P_{ef0}\,D(\theta)\,\frac{r_0}{r_1} \text{ și } P_{ef2} = P_{ef0}\,D(\theta)\,\frac{r_0}{r_2}, \qquad (4.33)$$

unde: P_{ef0} este presiunea efectivă în punctele A_1 și A_2.

Presiunea rezultantă este

$$P_{ef}^2 = P_{ef1}^2 + P_{ef2}^2, \qquad (4.34)$$

iar funcția de repartiție a presiunilor acustice are expresia

$$\mathfrak{R}^2 = \left(\frac{P_{ef}}{P_{ef0}}\right)^2 = D^2(\theta_1)\left(\frac{r_0}{r_1}\right)^2 + D^2(\theta_2)\left(\frac{r_0}{r_2}\right)^2. \qquad (4.35)$$

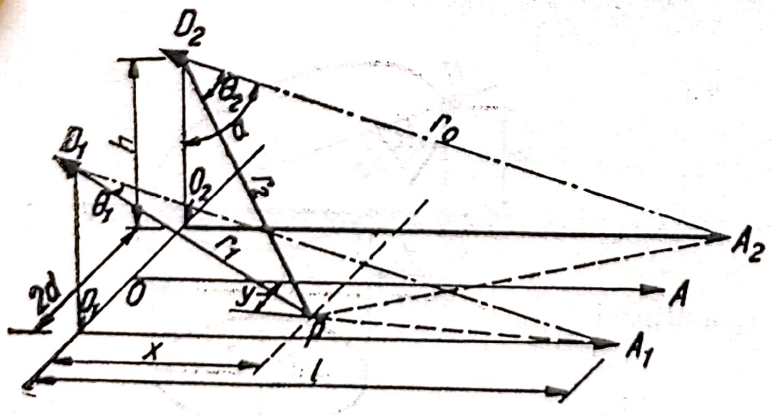


Fig. 4.15. Sonorizarea unei suprafețe cu ajutorul a două difuzoare cu pîlnie.

Cu notațiile $\rho = \frac{r_0}{d}$; $\frac{h}{d} = \rho\cos\alpha$; $\xi = \frac{x}{d}$ și $\eta = \frac{y}{d}$ se pot scrie următoarele relații:

$$\left(\frac{r_0}{r_1}\right)^2 = \frac{\rho^2}{\rho^2\cos^2\alpha + \xi^2 + (1-\eta)^2}, \qquad (4.36)$$

$$\left(\frac{r_0}{r_2}\right)^2 = \frac{\rho^2}{\rho^2\cos^2\alpha + \xi^2 + (1+\eta^2)}. \qquad (4.37)$$

Din triunghiurile D_1PA_1 și D_2PA_2 rezultă

$$\cos \theta_1 = \frac{\rho \cos^2 \alpha + \xi \sin \alpha}{\sqrt{\rho^2 \cos^2 \alpha + \xi^2 + (1 - \eta)^2}}, \tag{4.38}$$

$$\cos \theta_2 = \frac{\rho \cos^2 \alpha + \xi \sin \alpha}{\sqrt{\rho^2 \cos^2 \alpha + \xi^2 + (1 + \eta)^2}}. \tag{4.39}$$

Folosind formulele (4.23), (4.38), (4.39) și înlocuind (4.38) și (4.39) în relația (4.35), se obține

$$\mathfrak{R}^2(\xi, \eta) = \rho^2 (1 - \varepsilon^2)^2 f_1^2 \left\{ \frac{1}{[f_2^2 + (1 - \eta)^2]^2} + \frac{1}{[f_2^2 + (1 + \eta)^2]^2} \right\} \tag{4.40}$$

unde s-au folosit notațiile:

$$f_1^2(\xi) = (\rho \cos^2 \alpha + \xi \sin \alpha)^2,$$

$$f_2^2(\xi) = \rho^2 \cos^2 \alpha + \xi^2 - \varepsilon^2 (\rho \cos^2 \alpha + \xi \sin \alpha)^2.$$

Pentru determinarea neuniformității de sonorizare este necesar să se calculeze valoarea maximă a funcției de repartiție a presiunilor $\mathfrak{R}$. Deoarece sistemul de ecuații care se obține prin derivarea lui $\mathfrak{R}^2$ în raport cu ξ și η

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \mathfrak{R}^2 = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \eta} \mathfrak{R}^2 = 0 \tag{4.41}$$

nu poate fi rezolvat, s-a căutat să se tragă unele concluzii și fără a avea o soluție generală a sistemului. Astfel, se observă că direcțiile care prezintă interes în ceea ce privește repartizarea nivelelor de presiune sonoră sînt cele paralele cu segmentul de dreaptă O_1O_2. Nivelele maxime se vor găsi pe dreapta care unește punctele de nivel maxim ale celor două elipse de pe suprafața de teren sonorizată. Abscisa punctului cu nivel maxim x_m se poate calcula cu formula

$$x_m = h \operatorname{tg} (\alpha - \theta_0), \tag{4.42}$$

în care θ_0 este unghiul dintre axa difuzoarelor și direcția la punctul de nivel maxim.

Repartiția nivelelor de presiune pe direcțiile y se determină prin derivarea funcției R^2 în raport cu η, obținîndu-se:

$$\frac{\partial}{\partial \eta} \mathfrak{R}^2 = 4\rho^2 (1 - \varepsilon^2)^2 f_1^2 \left\{ \frac{1 - \eta}{[f_2^2 + (1 - \eta)^2]^3} - \frac{1 + \eta}{[f_2^2 + (1 + \eta)^2]^3} \right\}. \tag{4.43}$$

Ecuația $\frac{\partial}{\partial \eta} \mathfrak{R}^2 = 0$ are printre alte rădăcini pe $\eta = \pm \infty$ și $\eta = 0$. Rădăcinile $\eta = \pm \infty$ corespund valorilor minime ale lui $\mathfrak{R}$. Referitor la rădăcina

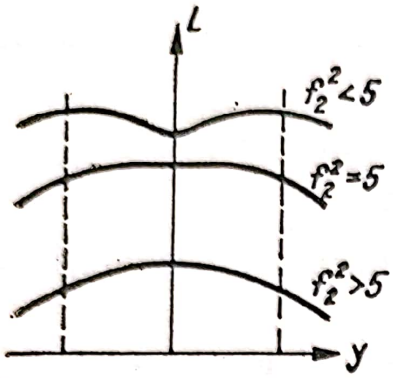


Fig. 4.16. Variația nivelului de presiune acustică L.

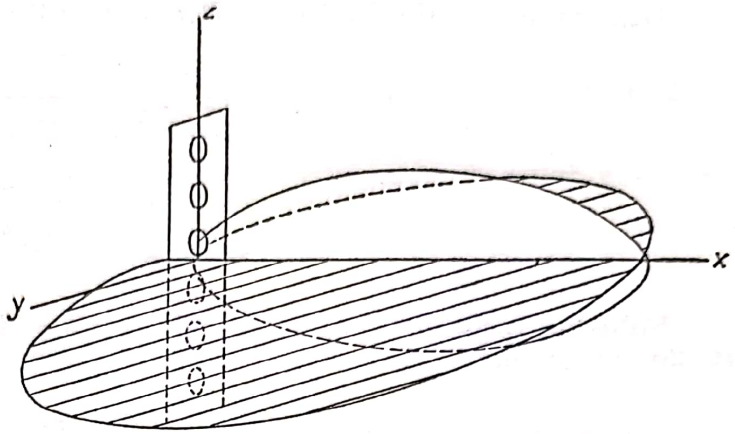


Fig. 4.17. Caracteristicile de directivitate ale unei coloane cu difuzoare în plan orizontal și vertical.

$\eta = 0$, este necesar să se determine semnul derivatei a doua $\left[\frac{\partial^2}{\partial \eta^2} \mathcal{R}^2\right]_{\eta=0}$, care este de forma

$$\left[\frac{\partial^2}{\partial \eta^2} \mathcal{R}^2\right]_{\eta=0} = 4\rho^2 (1 - \varepsilon^2)^2 f_1^2 \left[\frac{12}{(1 + f_2^2)^4} - \frac{2}{(1 + f_2^2)^3}\right]. \tag{4.44}$$

Această ecuație se anulează pentru $f_2^2 = 5$. Cînd $f_2^2 \ll 1$ ecuația (4.44) are valori pozitive și se poate afirma că pentru $f_2^2 < 5$, rădăcina $\eta = 0$ corespunde valorilor minimale ale lui $\mathcal{R}^2$, iar pentru $f_2^2 > 5$ corespunde valorilor maximale.

Deci, pentru a calcula neuniformitatea, trebuie explorată direcția y, corespunzătoare abscisei x_m a punctului de maxim și anume în domeniul $0 < \eta < 1$. Formula de calcul este

$$\Delta L = 10 \lg \left[\mathcal{R}^2_{max}(\eta)\right]_{\xi = \frac{x_m}{d}} \tag{4.45}$$

În fig. 4.16 s-au trasat nivelele de presiune L în funcție de y pentru cele trei categorii de valori ale lui f_2^2.

Dintre sursele concentrate cel mai frecvent utilizate sînt coloanele cu difuzoare. Caracteristic pentru acest tip de surse este îngustarea în planul vertical a fasciculului sonor, o dată cu creșterea lungimii coloanei, respectiv cu mărirea numărului de difuzoare. Dispersarea în planul orizontal a fasciculului sonor al unei astfel de coloane este asemănătoare cu cea a unui singur difuzor (fig. 4.17).

Pentru a concretiza cele afirmate, se poate considera relația (3.58) cu ajutorul căreia se calculează caracteristica de directivitate D. În această expresie notînd $nd = l$ (l este lungimea coloanei), se obține:

$$D = \frac{\sin\left(\frac{\pi l}{\lambda} \sin\theta\right)}{\frac{\pi l}{\lambda} \sin\theta}. \tag{4.46.}$$

Dacă θ_0 este unghiul pentru care radiația în planul coloanei este nulă (fig. 4.18), rezultă:

$$\left(\sin \frac{\pi l}{\lambda} \sin \theta_0\right) = 0 \text{ sau } \sin \theta_0 = \frac{\lambda}{l}$$

și, considerînd cazul $\lambda \ll l$, se poate scrie:

$$\theta_0 \approx \frac{\lambda}{l}. \qquad (4.47)$$

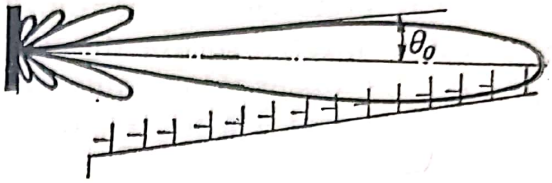


Fig. 4.18. Utilizarea uneicoloane cu difuzoare pentru sonorizarea unei săli

Relația (4. 47) arată că pentru valori mari ale lui l, deci pentru coloane cu număr mare de difuzoare, unghiul θ_0 devine mic și deci fasciculul sonor se îngustează sensibil, directivitatea fiind foarte pronunțată. De asemenea, se mai observă că pentru valori mici ale lungimii de undă λ, deci pentru frecvențe ridicate, efectul este același.

În fig. 4.19 sînt trasate caracteristicile de directivitate a două coloane cu difuzoare de tip Telefunken. În fig. 4.19, *a* sînt reprezentate, pentru frecvențele de 200 Hz, 1000 Hz și 6 000 Hz caracteristicile de directivitate ale coloanei tip ELA MH, care este echipată cu 6 difuzoare și are o putere electrică totală de 50 W. Lungimea coloanei este de 1,53 m. În fig. 4.19, *b* sînt reprezentate, în funcție de aceleași frec-

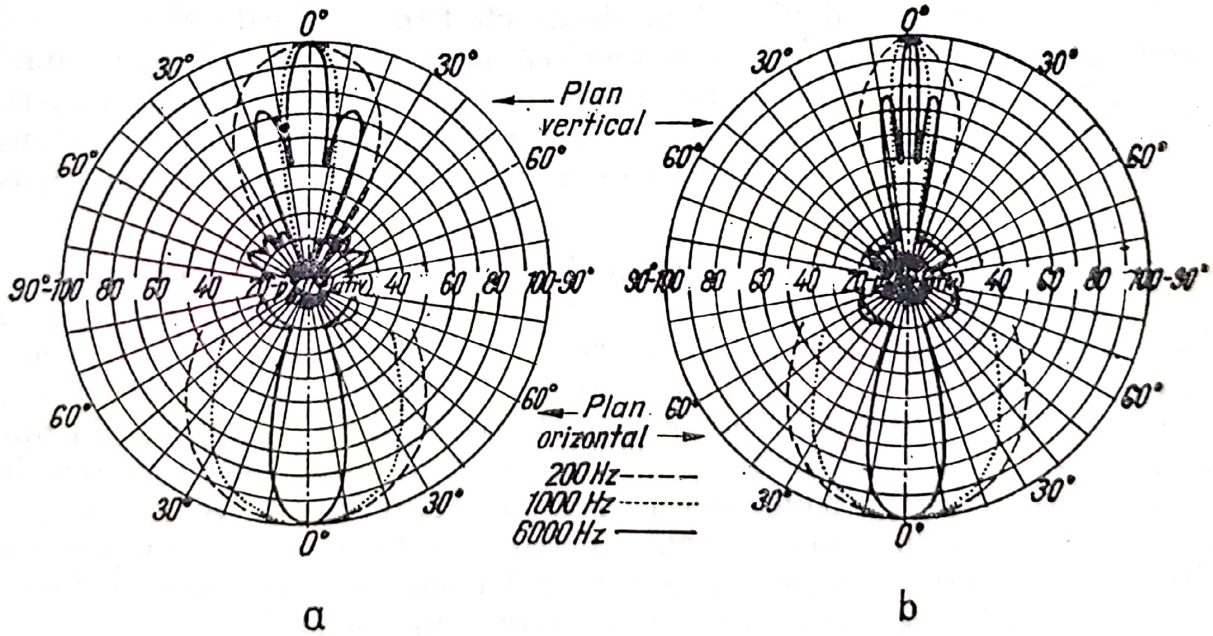


Fig. 4.19. Caracteristicile de directivitate în planul orizontal și vertical ale unor coloane cu difuzoare Telefunken:
a — coloană cu difuzoare tip ELA MH; *b* — coloană cu difuzoare tip ELA MV.

vențe, caracteristicile coloanei tip ELA MV, echipată cu 12 difuzoare și avînd o putere totală de 100 W. Lungimea acestei coloane este de 3,06 m. Se observă o îngustare simțitoare (cu aproximativ 20° la 200 Hz) a caracteristicii de directivitate în planul vertical al coloanei mai lungi.

Exemplu de calcul 3. Să se determine, pentru frecvența de 200 Hz, unghiurile θ_0 corespunzătoare celor două coloane cu difuzoare, ale căror caracteristici de directivitate sînt indicate în fig. 4.19.

Lungimea de undă corespunzătoare frecvenței de 200 Hz este $\lambda = 1{,}70$ m. Valoarea unghiului θ_0 [v. relația (4.47)] pentru coloana cu 6 difuzoare este de $\theta_0 = 1{,}11$ rad. sau $\theta_0 \approx 56°$. Se poate verifica că există concordanță între valoarea calculată și cea care rezultă experimental (v. fig. 4.19, *a*).

Pentru cea de-a doua coloană ($l = 3{,}05$ m) rezultă $\theta_0 = 0{,}55$ rad sau $\theta_0 \approx 31°$, valoare care coincide cu cea stabilită prin măsurări (fig. 4.19, *b*).

O coloană cu difuzoare prezintă în planul orizontal, așa cum s-a mai arătat, o caracteristică de directivitate asemănătoare cu cea a unui simplu difuzor, ea îngustîndu-se pe măsura măririi frecvenței de lucru.

Celălalt tip de sursă directivă, difuzorul cu pîlnie, prezintă atît în planul vertical cît și în cel orizontal o pronunțată concentrare a fasciculului sonor.

În timp ce concentrarea radiației sonore în planul vertical este — din motivele arătate în acest capitol — utilă pentru realizarea sonorizărilor în încăperi, ea devine dăunătoare cînd se manifestă și în planul orizontal, deoarece împiedică acoperirea unei porțiuni cît mai mari din suprafața ocupată de public. Unele din procedeele utilizate pentru înlăturarea acestui inconvenient au fost arătate în capitolul precedent și constau în folosirea unor difuzoare cu pîlnii de profil special și a pîlniilor multicelulare.

În cele ce urmează se va descrie o altă metodă pentru obținerea unei dispersări mai mari a fasciculului sonor în planul orizontal, care poate fi aplicată atît în cazul folosirii difuzoarelor cu pîlnii, cît și al coloanelor cu difuzoare și care constă în utilizarea *lentilelor acustice*. O lentilă acustică este identică, în ceea ce privește funcționarea cu o lentilă optică. Se știe că valoarea vitezei fasciculului luminos printr-un anumit mediu depinde de indicele de refracție al acelui mediu. Așa cum s-a ilustrat în fig. 4.20, trecerea prin mediile *I* și *II* provoacă micșorarea vitezei fasciculului; în mediul *I* întregul front de undă este uniform întîrziat, iar în mediul *II* întîrzierea este neuniformă.

Se observă că, după ce a străbătut mediul mai dens, fasciculul își reia viteza inițială. Durata după care se reia viteza inițială depinde, deci, de grosimea mediului străbătut; în direcțiile în care grosimea

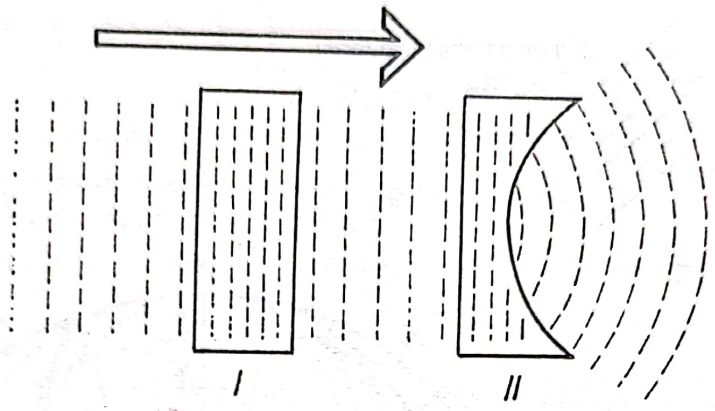


Fig. 4.20. Principiul de funcționare al unei lentile acustice.

este mai mică, valoarea vitezei inițiale este obținută într-un timp mai scurt și invers. Situația este identică în cazul lentilelor acustice. La realizarea unei lentile acustice apare dificultatea de a găsi materiale care, rămînînd transparente pentru sunet, să acționeze asupra vitezei acestuia. În urma cercetărilor întreprinse s-au găsit două categorii de soluții pentru realizarea lentilelor acustice: o categorie de soluții prevede ca micșorarea vitezei sunetului să se obțină prin introducerea unor obstacole în drumul acestuia (ca, de exemplu, plăci perforate); cea de-a doua categorie urmărește să obțină micșorarea vitezei sunetului cu ajutorul unor dispozitive mecanice care măresc lungimea traseului străbătut de sunet.

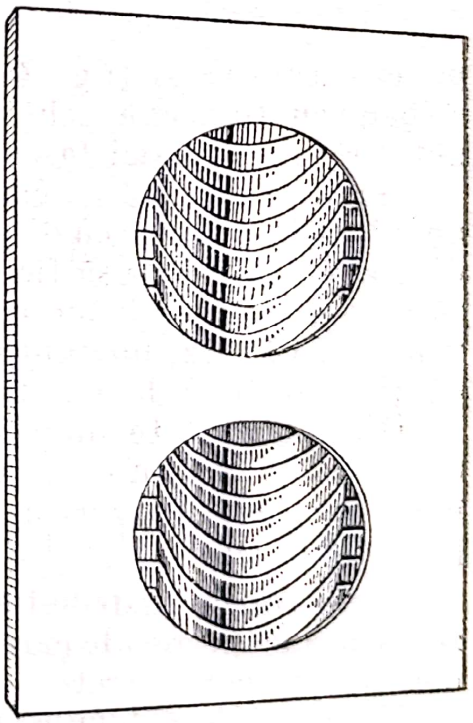


Fig. 4.21. Coloană cu difuzoare realizată cu lentile acustice.

În fig. 4.21 este prezentată o lentilă acustică utilizată pentru o coloană cu difuzoare de tip Siemens&Halske 6 SEla 3779. Ea este realizată dintr-o grilă formată din lamele cu un profil special, prin care se obțin diferențe de parcurs între sunetul care străbate regiunea din axul lentilei și cel care străbate lentila

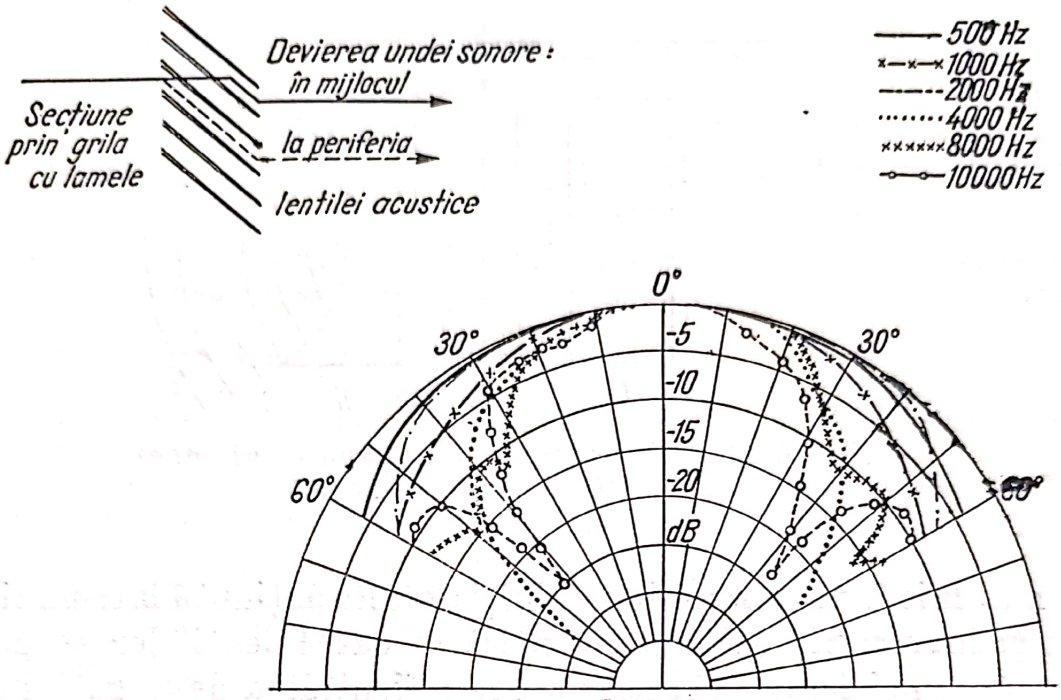


Fig. 4.22. Caracteristica de directivitate a unui difuzor prevăzut cu lentilă acustică.

pe la periferia ei (fig. 4.22). Caracteristica de directivitate a unei coloane cu difuzoare, echipată cu o astfel de lentilă, prezintă o îmbunătățire a dispersiei fasciculului sonor în planul orizontal.

Condiția de bază de care trebuie să se țină seamă la dimensionarea unei lentile acustice cu diferență de lungime de parcurs este ca distanța dintre lamelele sale să fie mai mică decît lungimea de undă corespunzătoare frecvenței de lucru celei mai înalte. De exemplu, pentru o frecvență de 10 kHz, lungimea de undă are valoarea $\lambda = 3{,}4$ cm. Rezultă că distanța între lamele trebuie să fie deci mai mică decît 3 cm.

Din cele arătate anterior se poate trage concluzia că este posibil să se acționeze asupra caracteristicilor de directivitate ale unor surse de tip coloană sau difuzor cu pîlnie, în sensul obținerii unei radiații corespunzătoare condițiilor din încăperea în care se face sonorizarea.

Surse sonore distribuite. Sonorizarea cu surse distribuite se realizează în încăperile ale căror forme în plan nu permit amplasarea surselor sonore concentrate.

Un astfel de sistem este, de asemenea, preferat în încăperile cu durată de reverberație mare sau în cele cu dimensiuni mari. Într-adevăr, în cazul unor săli mari, utilizarea unor surse concentrate ar necesita

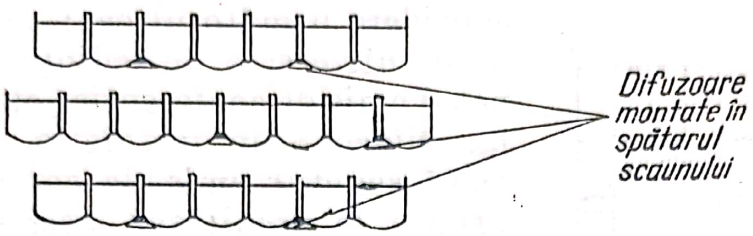


Fig. 4.23. Difuzoare uniform distribuite în spătarul fotoliilor.

dimensionarea unor surse sonore de puteri acustice foarte mari, ceea ce ar conduce la nivele de intensitate sonoră excesiv de mari pentru ascultătorii din primele rînduri de fotolii.

În cazul surselor sonore distribuite, alegîndu-se distanțe convenabile între difuzoare, astfel încît fiecare din ele să asigure acoperirea cu sunet a unei anumite porțiuni din sală, se pot realiza nivele constante de intensitate sonoră pe toată suprafața ocupată de ascultători, evitîndu-se în același timp apariția unor decalaje mari între momentele de sosire la urechile ascultătorilor a undelor sonore care provin de la diferitele difuzoare. În multe săli de ședințe, de conferințe și de teatru este utilizat un astfel de sistem în care difuzoarele sînt amplasate în fiecare fotoliu sau la fiecare al doilea sau al treilea fotoliu (fig. 4.23).

Există totuși și unele inconveniente, în ceea ce privește utilizarea sistemului de sonorizare cu surse uniform distribuite, ca, de exemplu, posibilitatea apariției unor decalaje mari de timp între momentele de sosire la ascultător a semnalelor sonore emise de sursa originală — conferențiar, actor etc. — și a celor emise de un difuzor amplasat în apropierea acestuia. Acest fapt poate influența și chiar modifica direcția din care se aude sursa de sunet primară. Pragul de sensibilitate al unor astfel de perturbații în audiție este condiționat de doi factori principali, și anume: de diferența de nivel de intensitate sonoră δL_I a diferitelor semnale care ajung la ascultător și de diferența de timp δt a sosirii lor la ascultător.

În cazul instalațiilor cu sunet auxiliar electroacustic, lipsa coincidenței între axa optică și cea acustică, respectiv lipsa coincidenței direcțiilor din care se vede și se aude sursa de sunet, rezultată din depășirea valorilor admisibile pentru δL_I și δt, prejudiciază, în mare măsură, reușita sonorizării. Este cunoscut faptul că din două surse sonore, care se găsesc la distanțe diferite de ascultător, determinantă pentru stabilirea locului de origină a sunetului, este aceea al cărei sunet emis ajunge primul la urechile ascultătorului. Pentru exemplificare se poate

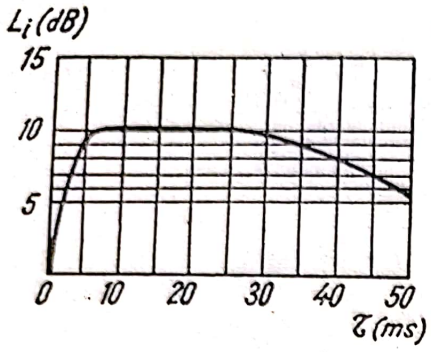


Fig. 4.24. Diferențe de nivele corespunzătoare întîrzierilor pînă la 50 ms, care permit evitarea ecoului.

considera următorul caz: la un ascultător aflat într-o sală de ședințe ajunge atît sunetul emis de conferențiar cît și cel emis de un difuzor din instalația de sonorizare. Dacă sunetul emis de conferențiar ajunge primul la ascultător, acesta va avea senzația că într-adevăr sursa de sunet originală se află la tribună; în caz contrar, ascultătorul va avea senzația că această sursă se află în locul în care este amplasat difuzorul. În urma cercetărilor efectuate de Haas s-a putut stabili că dacă sunetul produs de un difuzor ajunge la urechile unui ascultător cu întîrzieri cuprinse între 5 ms și 30 ms față de sunetul original și dacă intensitatea primului nu depășește cu mai mult de 10 dB pe a celui de-al doilea, atunci difuzorul respectiv nu este perceput separat ca poziție, față de sursa primară. În fig. 4.24 s-a reprezentat creșterea admisibilă a intensității sunetului emis de difuzor față de sunetul primar, în funcție de diferitele valori ale întîrzierilor.

Efectul Haas are o mare importanță în electroacustică și în deosebi în tehnica sonorizărilor, deoarece permite realizarea unor instalații care să asigure o întărire substanțială a sunetului, fără ca să se poată descoperi prezența difuzoarelor. Repetările sunetului amplificat pe cale naturală, dar mai ales pe cale artificială, pot fi astfel foarte utile pentru ameliorarea calității și claritățiii auditiei într-o încăpere.

Din cele arătate rezultă că realizarea unei sonorizări de bună calitate implică un reglaj riguros, atît al nivelelor de intensitate sonoră cît și al duratelor de sosire a undelor sonore la urechile ascultătorilor. Dacă pentru reglarea intensității sonore sînt necesare numai dispozitivele existente în mod obișnuit într-un echipament de sonorizare (de exemplu, atenuatoare reglabile), pentru realizarea întîrzierilor se impune introducerea unor instalații speciale. Există, în general, două metode principale pentru producerea unor întîrzieri artificiale ale sunetului: una bazată pe întîrzierea provocată prin propagarea în aer a acestuia și alta care se bazează pe întîrzierea produsă de un dispozitiv magnetic de înregistrare — redare a sunetului. În fig. 4.25 sînt prezentate schematic ambele metode.

Scanned with OKEN Scanner

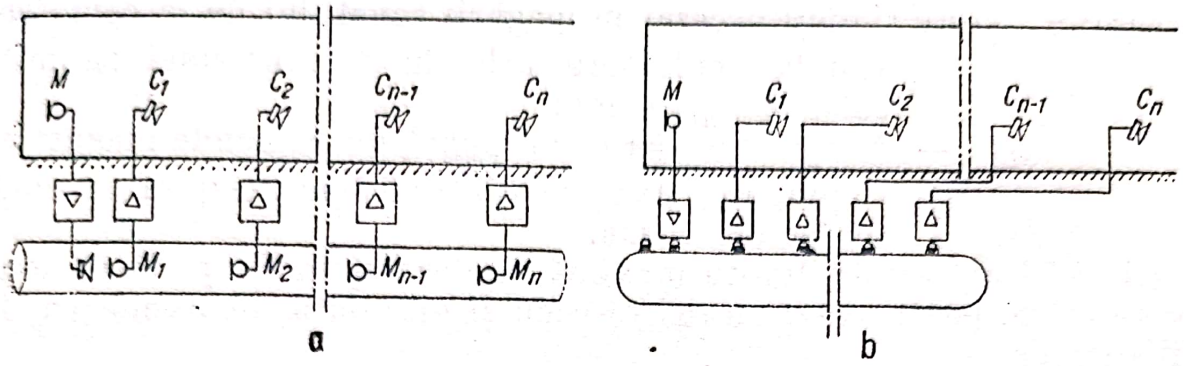


Fig. 4.25. Metode de întîrziere a sunetului:
a — prin propagarea în aer; *b* — prin intermediul unui dispozitiv tip magnetofon.

După cum se observă în fig. 4.25, *a* întîrzierea sunetului se realizează în felul următor: într-un tub de lungime aproximativ egală cu cea a sălii sînt amplasate mai multe microfoane. Numărul microfoanelor și distanțele dintre ele sînt aceleași cu numărul coloanelor cu difuzoare, situate în sală, respectiv cu distanța dintre coloane. După captarea sunetului în spațiul scenei, redarea acestuia se face prin intermediul unui difuzor amplasat, de asemenea, în tub și care are față de microfoane aceeași poziție ca și vorbitorul față de coloanele cu difuzoare. Fixarea poziției coloanelor cu difuzoare și, deci, implicit a microfoanelor se face ținînd seama de relația

$$MC_n < DM_n < MC_n + 17, \qquad (4.48)$$

în care: MC_n este distanța dintre microfonul M din sală și o coloană oarecare C_n, în m;

DM_n — distanța măsurată în tub dintre difuzorul D și un microfon oarecare M_n, în m.

Cifra 17 este dată în metri și corespunde spațiului parcurs în aer, de unda sonoră în 50 ms (limita maximă pentru care nu se produce ecou).

Cea de-a doua metodă de întîrziere a sunetului (care presupune utilizarea unui dispozitiv magnetic de înregistrare — redare) este prezentată în fig. 4.25, *b*. Condiția necesară pentru stabilirea pozițiilor coloanelor cu difuzoare este definită prin relația

$$\tau_{MCn} < \tau_{SL_n} < \tau_{MC_n} + 50, \qquad (4.49)$$

în care: τ_{MC_n} este timpul necesar propagării sunetului de la conferențiar la ascultătorul aflat în dreptul unei anumite coloane C_n, în ms;

τ_{SL_n} — timpul necesar ca un punct de pe banda magnetică să parcurgă distanța dintre magnetscriptor și magnetlector, în ms.

Cifra 50 reprezintă limita maximă de decalaj în timp, între două unde sonore, pentru care nu există ecou și este dată, de asemenea, în milisecunde.

S-a arătat mai înainte că avantajele unui sistem de sonorizare cu surse uniform distribuite constă în crearea unui nivel de intensitate sonoră cît mai uniform și în posibilitatea de a evita ecoul între diferitele grupuri de difuzoare. Mai trebuie să se menționeze că prin utilizarea unui astfel de sistem se obține și un procent de articulație superior celui realizat în cazul folosirii unor surse concentrate. Acest fapt este demonstrabil dacă se ia în considerare factorul de calitate al încăperii $\mathcal{Q}$, definit prin relația:

$$\mathcal{Q} = \frac{w_D + w_{R_1}}{w_{R_2} + w_z} T K_L, \tag{4.50}$$

în care: w_D este densitatea de energie a sunetului direct, în Ws/m^3;

w_{R_1} — densitatea de energie a sunetului reflectat de pereții încăperii în primele 50 ms, în Ws/m^3;

w_{R_2} — densitatea de energie a sunetului reflectat de pereții încăperii după 50 ms, în Ws/m^3;

w_z — densitatea de energie a zgomotului în încăpere, în Ws/m^3;

T — durata de reverberație a încăperii, în s;

K_L — factorul de tărie, definit prin relația $K_L = 0{,}0388 \cdot L_I e^{-\frac{L_I}{70}}$, unde L_I este nivelul de intensitate sonoră a vorbirii în încăpere, în dB;

Valorile densităților de energie w_D, w_{R_1} și w_{R_2} se pot determina atît pentru cazul surselor distribuite cît și pentru cel al surselor concentrate utilizînd formulele (indicele d se referă la sursele sonore distribuite iar indicele c la sursele sonore concentrate):

$$w_{D_d} = \frac{\mathcal{Q}'_a}{c} \ln\left(1 + \frac{17}{h}\right); \tag{4.51}$$

$$w_{R_1 d} = \frac{S\mathcal{Q}'_a}{V}\frac{T}{13{,}8}\left(1 - 10^{\frac{-0{,}3}{T}}\right); \tag{4.52}$$

$$w_{R_2 d} = \frac{S\mathcal{Q}'_a}{V}\frac{T}{13{,}8}10^{\frac{-0{,}3}{T}} \tag{4.53}$$

și, respectiv:

$$w_{Dc} = \frac{\mathcal{Q}_a}{4\pi r^2 c}, \tag{4.54}$$

$$w_{R_1 c} = \frac{\mathcal{Q}_a}{V}\frac{T}{13{,}8}\left(1 - 10^{\frac{-0{,}3}{T}}\right), \tag{4.55}$$

$$w_{R_2 c} = \frac{\mathcal{Q}_a}{V}\frac{T}{13{,}8}10^{\frac{-0{,}3}{T}}, \tag{4.56}$$

în care: h este distanța de la planul difuzoarelor pînă la urechile ascultătorului, în m;

$\mathcal{Q}'_a$ — puterea sonoră radiată de un metru pătrat din suprafața planului cu difuzoare, în W;

r — distanța dintre ascultător și sursă, în m;

S — suprafața pe care sînt uniform distribuite sursele sonore, în m²;

$\mathcal{Q}_a$ — puterea acustică a sursei sonore concentrate, în W.

Pentru a demonstra în ce raport se găsesc factorii de calitate $\mathcal{Q}_c$ și $\mathcal{Q}_d$, rezultați în cazul utilizării celor două sisteme de sonorizare, sistemul cu surse concentrate și cel cu surse distribuite, este preferabil ca, în scopul simplificării calculului, să se facă următoarele ipoteze:

— puterea acustică este aceeași, atît într-un sistem cît și în celălalt, adică este îndeplinită relația:

$$\mathcal{Q}_a = S\mathcal{Q}'_a; \tag{4.57}$$

— se neglijează nivelul de zgomot din încăpere, ceea ce înseamnă că $w_z \ll w_{R_2}$;

— nivelul intensității sonore a vocii în sală este de 70 dB, valoare la care corespunde un factor de tărie $K_L = 1$.

În aceste condiții relația (4.50) se poate pune sub forma:

$$\mathcal{Q}_c = \frac{w_{Dc} + w_{R_1 c}}{w_{R_2 C}} T \tag{4.58}$$

pentru surse sonore concentrate, și sub forma,

$$\mathcal{Q}_d = \frac{w_{Dd} + w_{R_1 d}}{w_{R_2 d}} T \qquad (4.59)$$

pentru surse sonore uniform distribuite.

Ținînd seamă de relația (4.57), se poate scrie că $w_{R_1 c} = w_{R_1 d}$ și $w_{R_2 c} = w_{R_2 d}$ și deci, pentru a observa raportul dintre mărimile $\mathcal{Q}_c$ și $\mathcal{Q}_d$, este suficient să se compare w_{Dc} și w_{Dd}. Pentru ca cei doi factori să fie egali este necesar să existe egalitate între membrii din dreapta ai relațiilor (4.51) și (4.54), adică:

$$\frac{\mathcal{Q}_a}{4\pi r^2 c} = \frac{\mathcal{Q}'_d}{c} \ln\left(1 + \frac{17}{h}\right).$$

Considerînd cu destulă aproximație că $S = \frac{\pi r^2}{4}$ și că este îndeplinită condiția exprimată prin relația (4.57), se poate scrie ecuația:

$$\ln\left(1 + \frac{17}{h}\right) = \frac{1}{16},$$

a cărei rădăcină este $h = 284$. Din analiza acestei ecuații rezultă că pentru toate valorile lui h mai mici decît 284, deci, de fapt, pentru totalitatea cazurilor practice, $\mathcal{Q}_d$ este mai mare decît $\mathcal{Q}_c$. Funcția de legătură între procentul de articulație PA și factorul de calitate $\mathcal{Q}$ fiind cea arătată în fig. 4.26, se poate trage concluzia că în cazul surselor distribuite și inteligibilitatea este superioară celei din cazul surselor concentrate.

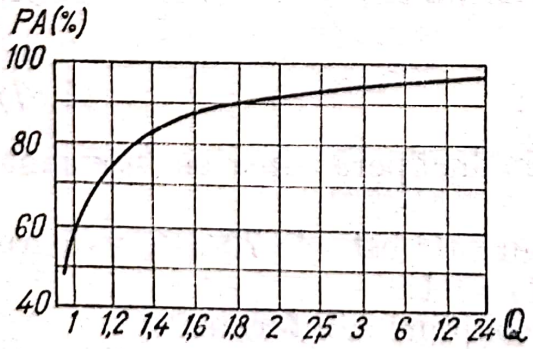


Fig. 4.26. Variația procentului de articulație PA în funcție de factorul de calitate al încăperii Q.

Exemplu de calcul. Să se calculeze puterea acustică necesară sonorizării cu ajutorul surselor uniform distribuite — a unei încăperi avînd dimensiunile de 20 m × 10 m × 8,5 m și o durată de reverberație de 3 s, astfel încît să se obțină un nivel de intensitate sonoră de 100 dB.

Să se determine inteligibilitatea încăperii și să se compare procentul de arti-

culație obținut cu cel care ar fi rezultat în cazul utilizării sistemului surselor concentrate în condițiile unor puteri acustice egale.

Notînd cu I_D intensitatea sonoră corespunzătoare sunetului direct și cu I_{ref} intensitatea de referință (10^{-12} W/m^2), se poate scrie $100 = 10 \lg \frac{I_D}{I_{ref}}$, de unde rezultă $I_D = 10^{-2}$ W/m^2.

Știind că $I_D = w_{Dc}$ și ținînd seamă de relația (4.51), se determină puterea acustică $\mathcal{P}'_a = 0{,}92\ 10^{-2}$ W.

Difuzoarele fiind amplasate pe tot plafonul încăperii, puterea acustică totală este $\mathcal{P}_a = \mathcal{S}\mathcal{P}'_a = 200 \times 0{,}92 \cdot 10^{-2} = 1{,}84$ W.

Calculul factorului de calitate, pentru cazul sistemului de sonorizare cu surse uniform distribuite, se face cu ajutorul relației (4.59). În acest scop, este necesar să se determine valorile densităților de energie w_{Dd}, $w_{R_1 d}$ și $w_{R_2 d}$ pe baza formulelor (4.51), (4.52) și (4.53). Se obține:

$$w_{Dd} = \frac{0{,}92 \cdot 10^{-2}}{340} 2{,}3 \lg\left(1 + \frac{17}{8{,}5}\right) = 0{,}29 \cdot 10^{-4} \left[\frac{\text{Ws}}{\text{m}^3}\right];$$

$$w_{R_1 d} = \frac{1{,}84}{1\,700} \cdot \frac{3}{13{,}8}\left(1 - 10^{\frac{-0{,}3}{3}}\right) = 0{,}47 \cdot 10^{-4} \left[\frac{\text{Ws}}{\text{m}^3}\right];$$

$$w_{R_2 d} = \frac{1{,}84}{1\,700} \frac{3}{13{,}8}\ 10^{\frac{-0{,}3}{3}} = 1{,}88 \cdot 10^{-4} \left[\frac{\text{Ws}}{\text{m}^3}\right].$$

Rezultă factorul de calitate $\mathcal{Q}_d$

$$\mathcal{Q}_d = \frac{(0{,}29 + 0{,}47)\ 10^{-4}}{1{,}88 \cdot 10^{-4}} 3 = 1{,}21.$$

Pentru calculul lui $\mathcal{Q}_c$ se utilizează formula (4.58), în care se înlocuiește valoarea lui w_{Dc} obținută cu relația (4.54):

$$w_{Dc} = \frac{1{,}84}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 20^2 \cdot 340} = 0{,}01 \cdot 10^{-4} \left[\frac{\text{Ws}}{\text{m}^3}\right]$$

și

$$\mathcal{Q}_c = \frac{(0{,}01 + 0{,}47) \cdot 10^{-4}}{1{,}88 \cdot 10^{-4}} \cdot 3 = 0{,}77.$$

În relațiile matematice prezentate s-a considerat că distanța maximă între sursa sonoră concentrată și ascultător este de 20 m.

Folosind caracteristica din fig. 4.26 pentru $\mathcal{Q}_d = 1{,}21$, se obține un procent de articulație $PA_d = 75\%$, pe cînd pentru $\mathcal{Q}_c = 0{,}77$ procentul de articulație este $PA_c < 40\%$.

Acest calcul demonstrează că în condițiile unei puteri acustice egale, și în aceleași condiții acustice (aceeași încăpere) sistemul cu surse distribuite prezintă avantaje evidente față de cel cu surse concentrate, deoarece un procent de articulație de 75% caracterizează o sală cu bună inteligibilitate, iar un procent mai mic decît 40% este complet nesatisfăcător din punct de vedere al inteligibilității.

4.2.2. *Instalații de sonorizare pentru reproducerea muzicii*

Instalațiile electroacustice pentru reproducerea muzicii pot fi dimensionate cu ajutorul acelorași relații matematice ca și instalațiile pentru transmiterea vorbei (v. § 4.2.1).

Deosebirile care există totuși între sunetele muzicale și cele vorbite, și care se datoresc însușirilor lor fizice, determină și unele modificări în conceperea, proiectarea și realizarea instalațiilor de sonorizare pentru reproducerea muzicii în comparație cu instalațiile pentru reproducerea vorbei. În cele ce urmează sînt arătate unele dintre aceste deosebiri. Astfel, regimul tranzitoriu al sunetelor muzicale diferă de cel al vorbei; de asemenea, registrul de frecvențe în muzică este mult mai mare decît cel al programelor vorbite. Spre exemplificare, în fig. 4.27 sînt arătate domeniile de frecvență pentru diferite instrumente muzicale. În legătură cu aceasta este necesar să se menționeze că, în muzică, sunetul de referință pe scara internațională are frecvența de 440 Hz (nota La a gamei a patra).

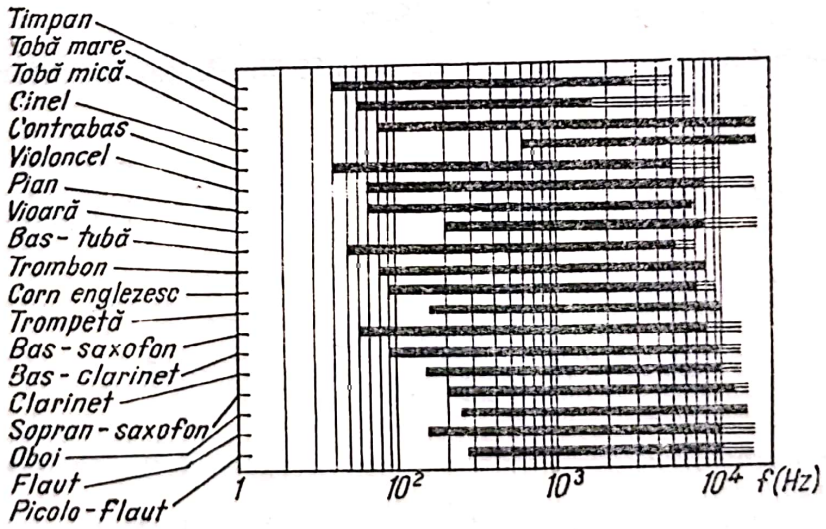


Fig. 4.27. Domeniile de frecvență ale diferitelor instrumente muzicale.

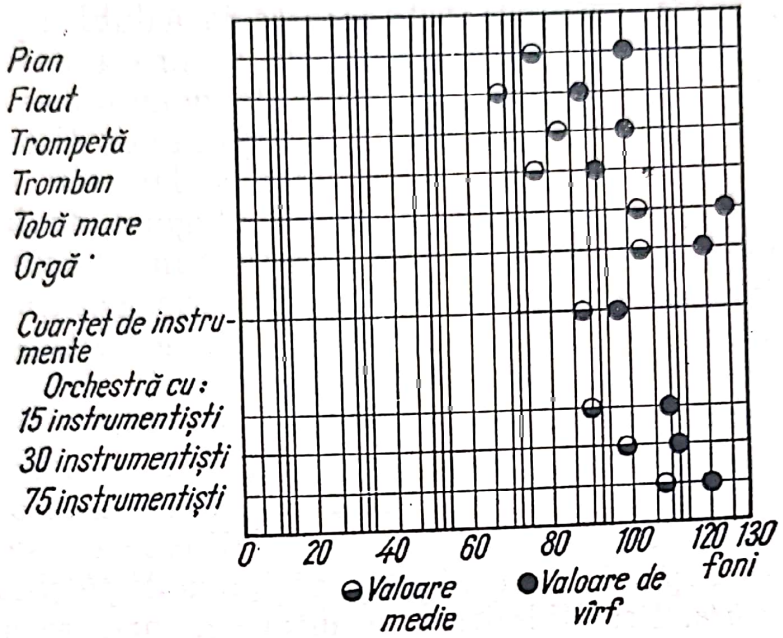


Fig. 4.28. Domeniile de intensitate sonoră ale diferitelor instrumente muzicale.

În cazul sunetelor muzicale, care sînt de multe ori rezultatul unor vibrații complexe, frecvențele armonice sînt deseori mai importante decît frecvențele fundamentale.

Puterea acustică produsă prin instrumentele muzicale și prin muzica vocală este considerabil mai mare decît cea produsă prin vorbă. În muzică intensitățile sonore se găsesc distribuite într-un domeniu mult mai întins decît în cazul vorbei, în funcție de tipul instrumentului, de caracterul producției muzicale (muzică simfonică, de dans, populară, etc.), de specificul bucății muzicale, de numărul instrumentiștilor sau al cîntăreților vocali. Cu titlu informativ, în fig. 4.28 sînt arătate rezultatele unor măsurări ale nivelelor de tărie acustică ale diferitelor instrumente muzicale (distanța față de sursa sonoră fiind de 3 m).

În cazul reproducerii sunetelor muzicale, dinamica este, de asemenea, mult mai mare decît cea corespunzătoare sunetelor vorbite. Ea atinge valori superioare celei de 60 dB. Este adevărat că valorile maxime ale dinamicii corespund muzicii simfonice; totuși, chiar și în cazul muzicii ușoare și al celei populare, ea rămîne la valori superioare dinamicii din cazul transmisiei programelor vorbite.

Trebuie să se precizeze că în calculul puterii acustice a instalației [v. relația (4.4.)], pentru L se va alege valoarea de $90 + 20 = 110$ dB. Rezerva de 20 dB este egală ca mărime cu cea din cazul instalațiilor pentru repro-

ducerea vorbei, rolul ei fiind însă de această dată dublu: pe de-o parte să asigure o ridicare a nivelului de intensitate sonoră în cazul apariției în interiorul sălii a unor nivele importante de zgomot perturbator și, pe de altă parte, să permită fără riscul apariției unor distorsiuni neliniare, corectarea caracteristicii de frecvență a lanțului electroacustic.

În plus, pentru aprecierea celor două categorii de instalații, cele pentru reproducerea muzicii și cele pentru reproducerea vorbei, se folosesc criterii deosebite. Astfel, din analiza făcută asupra instalațiilor pentru reproducerea vorbei, a rezultat că inteligibilitatea este principalul lor criteriu de apreciere. Pentru instalațiile electroacustice destinate transmisiei muzicii, inteligibilitatea trebuie luată în considerare numai în cazul muzicii corale. În rest, factorul decisiv în aprecierea unei astfel de instalații, este calitatea. Se consideră că o transmisiune muzicală este de calitate cînd redarea muzicii este cît se poate de naturală; în acest scop a fost introdusă și noțiunea de *fidelitate*, respectiv de *înaltă fidelitate*. Prin fidelitate se înțelege, printre altele, coincidența nivelului de intensitate sonoră obținut pe cale elecroacustică într-o încăpere cu nivelul de intensitate pe care trebuie să-l producă în conditii similare sursa de sunet originală. De asemenea, fidelitate înseamnă reproducerea condițiilor de claritate și de ambianță sonoră. Claritatea se exprimă, ca și în cazul inteligibilității, prin mărimea raportului dintre sunetul direct și cel reverberat. Ambianța sonoră, adică crearea unor condiții acustice corespunzătoare genului de producție muzicală, este mai greu de realizat. În legătură cu aceasta, Olson de exemplu, referindu-se numai la duratele de reverberație, recomandă valorile din tabelul 4.1.

Tabelul 4.1

Durata de reverberație pentru diferite genuri de producții muzicale

Genul producției muzicale	Durata efectivă a reverberației s
Orgă	2—5
Orchestră de muzică ușoară	2—3
Orchestră simfonică	1,5—2
Cor	1—2
Operă	0,7—1
Orchestră populară	0,5—1

Producerea ambianței sonore prin schimbarea caracteristicilor acustice ale încăperii cu ajutorul mijloacelor electroacustice se numește ambiofonie. Utilizarea tehnicii ambiofoniei, respectiv a producerii sunetului ambiant, oferă spectatorului posibilitatea să asculte fiecare program muzical în condiții adaptate specificului programului.

Revenind la noțiunea de fidelitate, este necesar să se menționeze că unii autori, cum ar fi, de

exemplu, Petzholdt, au considerat necesară stabilirea unor criterii de apreciere și, din acest motiv, au introdus așa-numitul „factor de fidelitate", F. În același scop s-au precizat și situațiile în care se obțin diferite valori ale factorului F, după cum se arată în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2

Valoarea factorului de fidelitate pentru diferite situații

Valoarea factorului F	Situația
1,00	Reproducere foarte bună a muzicii; nu există nici o diferență față de sunetul original
0,80	Reproducere bună a muzicii; se percep diferențe numai cînd audiția se face cu deosebită atenție
0,60	Reproducere suficient de bună; diferențele față de sunetul original se percep fără mare atenție
0,40	Reproducere de calitate modestă; diferențele față de original sînt foarte clare
0,20	Reproducere de calitate necorespunzătoare cu diferențe mari față de sunetul original

Principalii parametri care contribuie la reducerea valorii factorului de fidelitate sînt: distorsiunile neliniare (fig. 4.29), limitarea caracteristicii de frecvență, micșorarea raportului semnal/zgomot.

Limitarea caracteristicii de frecvență influențează calitatea transmisiunilor muzicale (fig. 4.30). Este necesar să se menționeze că și în

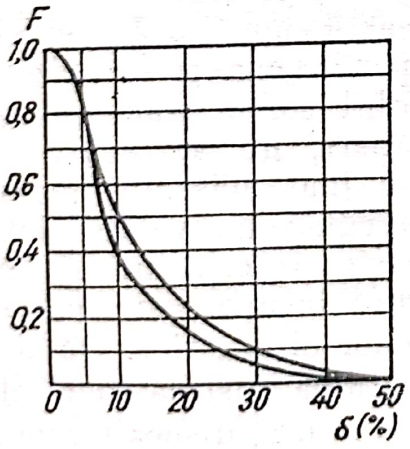


Fig. 4.29. Dependența factorului de fidelitate F de valoarea procentului de distorsiuni neliniare δ.

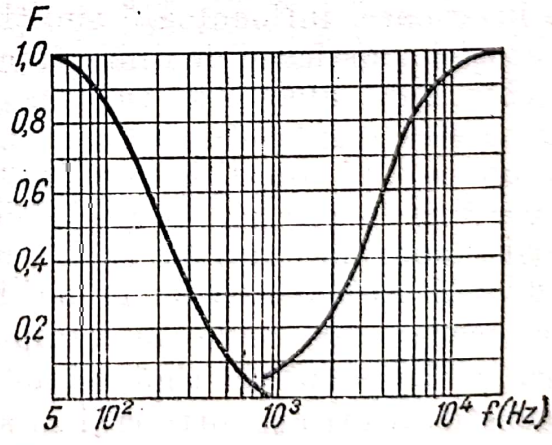


Fig. 4.30. Influența limitării caracteristicii de frecvență asupra valorii factorului de fidelitate.

cazul optim, în care sursa sonoră are o caracteristică de frecvență liniară, există situații în care ascultătorul are senzația apariției unor limitări. Astfel, după cum s-a arătat în cap. 1 (v. § 1.5.2 și fig. 1.13), organul auditiv nu percepe toate frecvențele în mod uniform, respectiv cu aceeași tărie sonoră. Din curbele de egal nivel de tărie Flechter-Munson, prezentate în cap.1, rezultă că, pe măsură ce nivelul de intensitate sonoră scade, variația nivelului de tărie în funcție de frecvență, este mai substanțială. Dacă se consideră un spectator dintr-o sală de concert, situat la distanță mai mare de sursa sonoră — solist vocal sau instrument muzical — nivelul de presiune acustică măsurat în dreptul său va fi mai mic decît pentru spectatorul din primul rînd de fotolii. Presupunînd că în imediata apropiere a sursei există un nivel de intensitate sonoră de 90 dB și că la spectatorul din ultimul rînd de fotolii ajunge un nivel de numai 60 dB, comparînd curbele de egală tărie sonoră corespunzătoare acestor două cazuri, se observă că variațiile în cel de-al doilea caz sînt mult mai mari decît în primul, frecvențele joase fiind afectate în cea mai mare măsură. Așadar, pentru ascultătorul situat la depărtare de sursa sonoră, efectul va fi asemănător cu o limitare la frecvențele joase a sunetelor emise de sursă.

Distanța mare față de sursa de sunet influențează și perceperea frecvențelor înalte. S-a arătat în capitolele anterioare că aerul se comportă ca un absorbant al sunetelor de frecvență înaltă. În plus, atît la frecvențele audio joase, cît și la cele înalte, mai intervine și absorbția cauzată de materialele cu care sînt acoperite suprafețele interioare ale încăperii (pereții, plafonul și pardoseala). Rezultă deci că încăperea, prin dimensiunile ei, și prin materialele cu care sînt finisate suprafețele sale interioare, influențează audiția. Din această cauză, a deosebirilor de însușiri acustice și de dimensiuni ale încăperilor care se sonorizează, deosebiri care afectează calitatea programului sonor transmis prin difuzoarele amplasate în mai multe încăperi, nu se poate utiliza un același amplificator decît dacă s-au luat măsurile necesare de corectare a caracteristicii de frecvență și de reglare a nivelului intensității sonore, în cazul fiecărei încăperi în parte. În caz contrar, audiția de calitate se va obține numai într-o singură încăpere, și anume în aceea pentru care reglajele corespund însușirilor ei acustice. De acest lucru trebuie să se țină seamă la proiectarea instalațiilor electroacustice pentru sonorizări și să se introducă în lanț dispozitivele necesare reglajelor de nivel și corecțiilor de caracteristică de frecvență.

Fidelitatea, așa cum s-a arătat mai înainte, implică și asigurarea ambianței sonore, corespunzătoare specificului programului muzical

Scanned with OKEN Scanner

transmis printr-o instalație de sonorizare. Mijloacele care permit crearea acestei ambianțe sînt constituite de instalațiile de ambiofonie. Pentru a demonstra influența unei astfel de instalații asupra proprietăților acustice ale sălii și pentru a arăta modul în care pot fi modificate aceste proprietăți, este necesar să se considere densitatea de energie sonoră care se stabilește în încăpere. Astfel, în cazul unei săli care nu este prevăzută cu echipament de ambiofonie sau în cazul în care acesta nu funcționează este valabilă egalitatea:

$$V\frac{dw}{dt} = \mathfrak{P}_a - \nu w, \tag{4.60}$$

în care: V este volumul sălii;
w — densitatea de energie sonoră;
$\mathfrak{P}_a$ — puterea acustică a surselor sonore din sală;
ν — o constantă care depinde de absorbția sonoră a suprafețelor interioare ale sălii $\left(\nu = \frac{Ac}{4}\right)$.

Soluția unei astfel de ecuații este de forma:

$$w = w_0\, e^{-\frac{\nu}{V}t}.$$

Cunoscînd faptul că aprecierea reverberației se face prin măsurarea duratei de reverberație T, care reprezintă timpul necesar ca raportul $\frac{w_0}{w}$ să ajungă la valoarea 10^6, rezultă:

$$T = 13{,}8\frac{V}{\nu}. \tag{4.61}$$

Dacă intervine și instalația de ambiofonie, aceasta va spori densitatea de energie din încăpere, printr-un adaos de putere proporțional cu densitatea de energie măsurată cu τ secunde înainte de momentul considerat.

Densitatea de energie suplimentară este de forma $Cw(t-\tau)$, iar relația (4.60) devine:

$$V\frac{dw}{dt} = Cw(t-\tau) - \nu w, \tag{4.62}$$

unde C este factorul de amplificare al instalației.

Una din soluțiile acestei ecuații este de forma

$$w = w_o\, e^{-nt}, \tag{4.63}$$

unde n reprezintă raportul $\frac{\nu}{V}$.

Punînd aceeași condiție ca la determinarea relației (4.61), se obține durata de reverberație în cazul funcționării instalației de ambiofonie

$$T_a = \frac{13{,}8}{n}. \tag{4.64}$$

Introducînd soluția (4.63) în ecuația (4.62) se obține:

$$nV = \nu - Ce^{n\tau}. \tag{4.65}$$

Pentru valori mari ale lui $n\tau$ funcția $e^{n\tau}$ se poate aproxima cu suma $1+n\tau$. Înlocuind această valoare în (4.65), se găsește valoarea lui n

$$n = \frac{\nu - C}{V + C\tau}. \tag{4.66}$$

Expresia (4.66) prezintă o importanță deosebită, deoarece arată posibilitățile prin care se pot modifica proprietățile acustice ale sălii prin intermediul instalației de ambiofonie. Astfel, unei întăriri a intensității sunetului, realizată cu ajutorul acestei instalații, îi corespunde o creștere a valorii factorului C, efectul fiind același ca în cazul reducerii absorbției sonore din încăpere. Într-adevăr, se observă că dacă în relația (4.66) C ia valori crescătoare, numărătorul fracției scade, iar numitorul crește, ceea ce pînă la urmă determină scăderea valorii lui n. Luînd însă în considerare formula (4.64), se constată că micșorarea lui n conduce la creșterea lui T_a. Prin urmare, totul se petrece ca și cînd absorbția sonoră a încăperii s-ar diminua.

Dacă se realizează o creștere a duratei întîrzierii, efectul este asemănător cu cel ce s-ar produce prin mărirea volumului încăperii [v.relația (4.66)].

Înlocuind valoarea lui n din relația (4.66) în (4.64), se găsește:

$$T_a = \frac{13{,}8}{\nu - C}(V + C\tau). \tag{4.67}$$

Pentru a pune în evidență variația raportului $\frac{T_a}{T}$ expresia (4.67) se poate scrie sub forma:

$$T_a = 13{,}8\frac{V}{\nu}\frac{1+\frac{C\tau}{V}}{1-\frac{C}{\nu}},$$

din care, ținînd seamă de formula (4.61), se poate obține raportul dintre durata de reverberație cu instalația de ambiofonie în funcțiune T_a și cea fără instalație de ambiofonie T:

$$\frac{T_a}{T} = \frac{1+\frac{C\tau}{V}}{1-\frac{C}{\nu}}. \tag{4.68}$$

Folosind valoarea lui V din (4.61) și notațiile $C' = \frac{C}{\nu}$ și $\tau' = 13{,}8\frac{\tau}{T}$ expresia (4.68) poate fi scrisă și sub forma:

$$\frac{T_a}{T} = \frac{1+C'\tau'}{1-C'}. \tag{4.69}$$

Variația raportului $\frac{T_a}{T}$ în funcție de C', pentru valori constante ale lui τ', este prezentată în fig. 4.31.

Curbele prezentate în această figură pot fi utilizate pentru calculul unei instalații de ambiofonie. Cunoscînd specificul programului muzical, pe baza tabelului 4.2 se poate determina valoarea optimă a duratei de reverberație. O dată cunoscută această valoare, după alegerea unei întîrzieri optime τ (metoda de calcul a lui τ optim va fi arătată în cele ce urmează) se poate determina valoarea lui C' care este funcție de raportul $\frac{\mathfrak{A}_{aA}}{\mathfrak{A}_a}$ în care $\mathfrak{A}_{aA}$ este puterea acustică cu instalație de ambiofonie în funcțiune, iar $\mathfrak{A}_a$ este puterea acustică, fără instalația de ambiofonie.

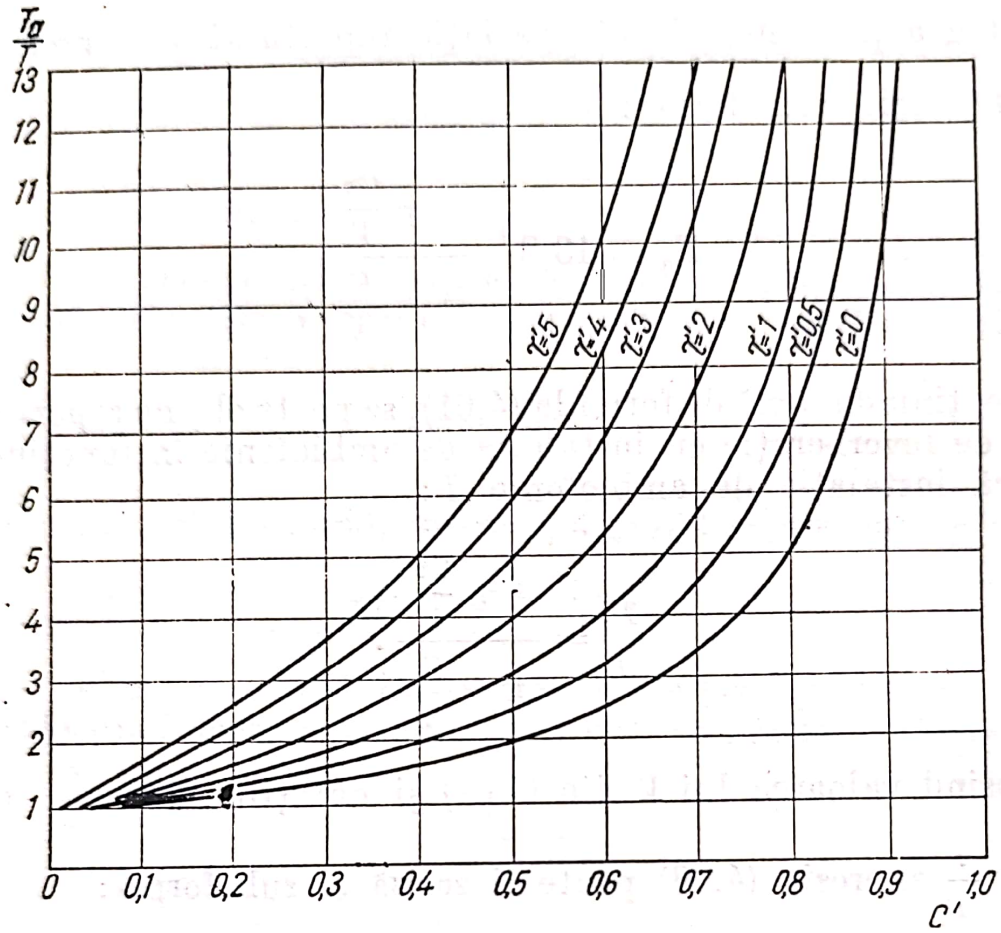


Fig. 4.31. Modificarea duratei de reverberație a unei încăperi în cazul funcționării unei instalații de ambiofonie.

S-a arătat mai înainte că întotdeauna trebuie avută în vedere o anumită valoare optimă a duratei întîrzierii.

Determinarea unei întîrzieri optime este, în general, o operație laborioasă, deoarece necesită calcule atît pentru fiecare difuzor în parte cît și pentru diferite poziții ale sursei de sunet. Dar după cum s-a mai arătat, difuzoarele care intră în componența unei instalații de ambiofonie sînt numeroase, ele fiind amplasate împrejurul ascultătorilor, pe pereții și pe plafonul sălii. Dificultatea constă ca, în aceste condiții să se asigure o audiție de calitate în care să nu poată fi posibilă perceperea separată a fiecărui difuzor. Calculul se întocmește pe baza relației (4.49), căreia i se face o corecție, în așa fel încît să se poată lua în considerare atît distanța care separă sursa sonoră de microfon cît și cea care separă difuzorul de ascultător. Considerînd situația din fig. 4.32, și notînd cu τ_a întîrzierea (în ms) corespunzătoare distanței între sursa

sonoră S și microfonul M, cu τ_m întîrzierea (în ms) introdusă de dispozitivul de întîrziere, cu τ_b întîrzierea (în ms), corespunzătoare distanței între difuzorul D și ascultătorul O și cu τ_c întîrzierea (în ms) corespunzătoare distanței între microfonul M și ascultătorul O, se poate scrie, pe de o parte, relația prin care se impune condiția ca sunetul direct să ajungă la asculător înaintea celui reverberat

$$\tau_a + \tau_c < \tau_a + \tau_m + \tau_b \qquad (4.70)$$

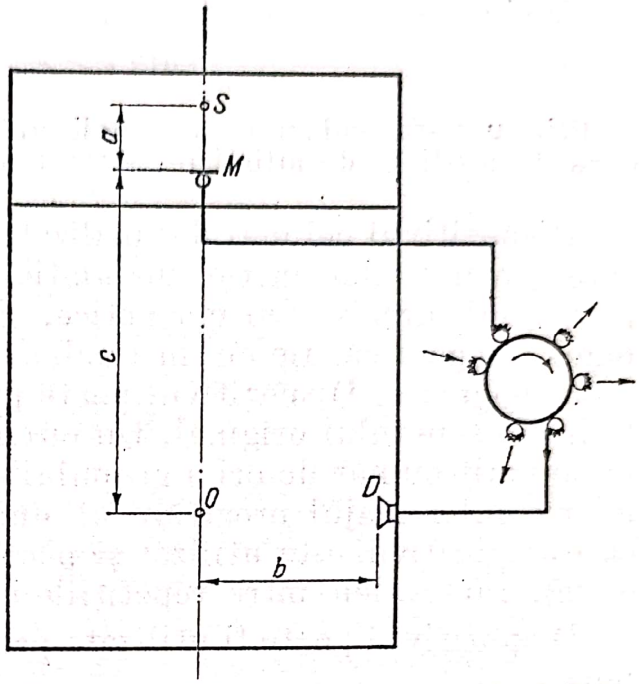


Fig. 4.32. Elemente pentru calculul întîrzierii τ_m introduse de dispozitivul de întîrziere.

iar, pe de altă parte, expresia matematică prin care se condiționează evitarea apariției ecoului

$$\tau_a + \tau_m + \tau_b - (\tau_a + \tau_c) < 0{,}05. \qquad (4.71)$$

Din relațiile (4.70) și (4.71) rezultă formula generală pe baza căreia se poate determina întîrzierea optimă corespunzătoare fiecărui difuzor din instalația de ambiofonie:

$$\tau_c - \tau_b < \tau_m < 0{,}05 + \tau_c - \tau_b. \qquad (4.72)$$

Exemplu de calcul. Să se calculeze valoarea întîrzierii care trebuie produsă prin intermediul unui dispozitiv magnetic, pentru un difuzor situat la înălțimea de 8,5 m față de pardoseala sălii. Distanța în planul orizontal între difuzor și ascultător este de 8 m. Microfonul se găsește amplasat la 5 m față de sursă, iar distanța dintre microfon și ascultător este de 15 m (sursa sonoră, microfonul și ascultătorul se găsesc pe aceeași direcție).

În funcție de valorile date, rezultă că distanța între ascultător și difuzor este de $\sqrt{7^2 + 8^2} = 10{,}6$ m (s-a considerat că înălțimea față de pardoseală a capului unui spectator — așezat pe un fotoliu — este de 1,5 m).

Ținînd seamă de faptul că viteza sunetului este 340 m/s, rezultă:

$$\tau_b = \frac{10{,}6}{340} = 0{,}031 \text{ s};$$

$$\tau_c = \frac{15}{340} = 0{,}044 \text{ s}.$$

Deci :

$$0{,}013\ s < \tau_m < 0{,}063\ s.$$

Prin urmare, valoarea întîrzierii optime (τ_{opt}), pa care trebuie s-o producă dispozitivul de întîrziere, trebuie să fie cuprinsă între 13 ms și 63 ms.

Dispozitivul cel mai des utilizat în momentul de față pentru realizarea întîrzierilor într-o instalație de ambiofonie este cel bazat pe principiul înregistrării magnetice. El este prevăzut fie cu o buclă de bandă magnetică, fie cu un tambur pe a cărui periferie se găsește un strat magnetic. Dispozitivul poate produce un anumit număr de repetiții ale sunetului original. Un circuit de reacție permite repetarea de un anumit număr de ori a grupului de sunete întîrziate, făcîndu-se astfel posibil reglajul progresiv al duratei de reverberație (în cazul în care dispozitivul este utilizat și pentru producerea reverberației artificiale). Intervalele între repetițiile individuale sînt reglabile separat.

Dispozitivul poate fi utilizat, printre altele, și în următoarele scopuri:

— întărirea sunetului în sălile mari ale uzinelor în care durata de reverberație este excesiv de mare, în sălile de așeptare ale gărilor și aerogărilor, în sălile de expoziții;

— eliminarea așa-numitelor „zone moarte“ în sălile de spectacol;

— producerea reverberației artificiale.

Pentru a arăta posibilitățile tehnice ale unui astfel de dispozitiv în cele ce urmează sînt prezentați cîțiva din principalii parametri ai dispozitivului de fabricație Philips — tip EL6911/01:

— numărul liniilor de ieșire	4
— lungimea buclei realizată din bandă magnetică	115 cm
— întîrzierea (minimă) dintre magnetscriptor și primul magnetlector	30 ms
— întîrzierea (maximă) dintre magnetscriptor și magnetlectorul aflat în ultima poziție	900 ms
— întîrzierea minimă între două magnetlectoare	30 ms
— nivelul de tensiune de ieșire pentru fiecare canal	+ 6 dB
— tensiunea nominală de intrare:	
— pentru microfon	0,2 mV/30—80 Ω
— pentru linie	230 mV/100 kΩ
— factorul de distorsiuni neliniare	< 5%
— raportul semnal/zgomot	> 58 dB

Scanned with OKEN Scanner

— fluctuația de viteză	$<0{,}3\%$
— tensiunea de alimentare	110—125—145—200—220—245 V
— consumul de putere electrică	100 VA

4.3. Instalații de sonorizare în aer liber

Deși principiile fundamentale ale unei sonorizări în aer liber sînt asemănătoare cu cele ale sonorizărilor realizate în încăperi, există totuși unele deosebiri, care se datoresc următoarelor cauze:

— lipsa în aer liber a oricărui sunet reflectat;
— influența foarte pronunțată a zgomotelor perturbatoare;
— influența factorilor climatici.

Fiecare din aceste cauze contribuie la înrăutățirea calității tehnice a programului sonor transmis printr-o instalație de sonorizare. Astfel, de exemplu, lipsa sunetului reflectat are drept consecință, pe de o parte, creșterea neuniformității intensității sonore, iar, pe de altă parte, micșorarea densității de energie pe suprafața ocupată de ascultători. Dacă în cazul sonorizării unei încăperi, reverberația avea, printre altele, și scopul asigurării unui nivel de intensitate sonoră constant, în aer liber acest factor nu mai poate fi luat în considerație. Neuniformitatea de intensitate acustică, care este provocată în această situație și de lipsa oricărui sunet reflectat, poate fi calculată cu relația (4.22). Trebuie să se menționeze că această relație a fost stabilită tocmai pentru cazul unei încăperi ale cărei suprafețe interioare sînt tratate cu materiale cu coeficient mare de absorbție a sunetului și, pentru care, deci, energia sonoră reflectată poate fi neglijată.

Nivelul sonor al zgomotului perturbator reprezintă un alt factor ce contribuie la diminuarea calității programului sonor transmis. Efectul de acoperire produs de zgomotul ambiant conduce la scăderea inteligibilității. Eliminarea acestui inconvenient este posibilă prin ridicarea nivelului intensității sunetului generat de difuzoare. Soluția aceasta, însă, este numai parțial satisfăcătoare, deoarece, simultan cu mărirea nivelului sonor, se pot produce alterarea timbrului și reducerea dinamicii, consecințe mai puțin plăcute, care determină o îndepărtare față de calitatea optimă a programului sonor. În felul acesta se explică, în mare măsură, de ce în aer liber este uneori dificil să se realizeze transmisiuni cu înaltă fidelitate ale unor programe sonore.

Clima este unul dintre principalii factori de care trebuie să se țină seamă în cazul unei sonorizări în aer liber. Cîteva considerații vor fi

Scanned with OKEN Scanner

suficiente pentru a sublinia importanța sa. Astfel, se știe că viteza sunetului într-o atmosferă calmă și la o temperatură de aproximativ 20°C este de aproximativ 340 m/s. Dacă aerul este în mișcare, viteza sunetului se modifică, ea fiind egală cu suma vectorială dintre viteza vîntului și cea a sunetului. În cazul cel mai general, în toate circumstanțele propagării sunetului în atmosfera în mișcare, vectorul vitezei sunetului în raport cu un punct mobil de pe sol este suma vectorială a vitezei sunetului în aerul imobil și cea a vîntului în direcția și sensul considerat. Se consideră situația din fig. 4.33, în care vîntul suflă asupra unor surse sonore. Cunoscînd faptul că viteza vîntului crește cu altitudinea, se constată că se poate produce o deviere a frontului de undă spre sol dacă vîntul are același sens cu cel al propagării sunetului, sau o deviere opusă celei dintîi, cînd sensurile nu mai coincid.

Efectele acestor devieri ale undelor sonore prezintă o deosebită importanță practică, deoarece în cazul coincidenței de sensuri se produce o întărire a sunetului, în timp ce în caz contrar, vor rămîne nesonorizate importante suprafețe de teren. Este recomandabil, deci, ca în cazul în care într-o regiune trebuie să fie sonorizată o anumită suprafață, să se studieze cu atenție factorii climatici, specifici zonei respective și să se prefere acel amplasament al difuzoarelor pentru care vîntul va sufla corespunzător sensului difuzor-ascultător. Aceste precauții sînt cu atît mai importante, cu cît suprafața care trebuie să fie sonorizată este mai mare.

Din cele arătate rezultă că, propagarea optimă a sunetului se obține în condițiile în care straturile superioare ale atmosferei se deplasează mai repede decît cele inferioare. O situație analogă rezultă și din gradientul de temperatură vertical al atmosferei. Se cunoaște, potrivit celor arătate în primul capitol, că viteza de deplasare a sunetului c într-o atmosferă calmă este dată de o relație care, pusă sub forma ei cea mai generală, poate fi scrisă astfel:

$$c = \sqrt{\frac{\varkappa P_0}{\rho_0}\left(1 + \gamma t\right)},$$

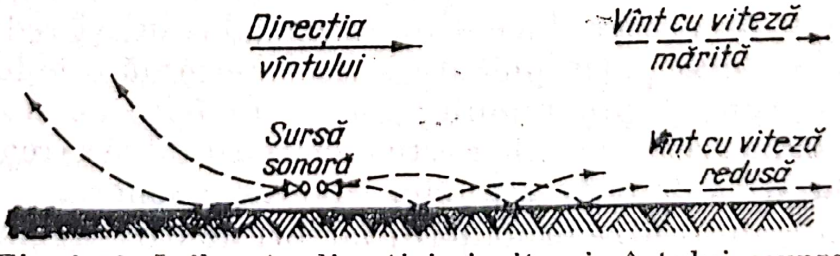


Fig. 4.33. Influența direcției și vitezei vîntului asupra propagării sunetului.

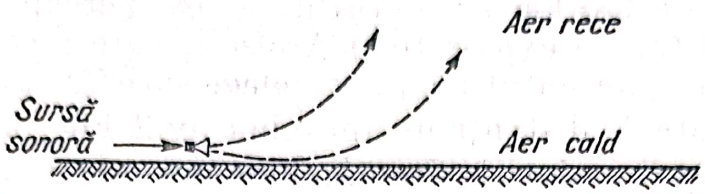


Fig. 4.34. Influența gradientului pozitiv de temperatură asupra propagării sunetului.

unde: $\varkappa$ este un coeficient cu valoarea de 1,4 pentru aer;
P_0 — presiunea statică, în N/m^2 sau dyn/cm^2;
ρ_0 — densitatea statică, în kg/m^3 sau g/cm^3;
t — temperatura, în °C;
γ — o constantă care este egală cu 1/273 în cazul gazelor perfecte.

Din această relație rezultă că viteza de propagare a sunetului este invers proporțională cu rădăcina pătrată a densității aerului și direct proporțională cu rădăcina pătrată a temperaturii acestuia. Așadar, viteza sunetului în regiunea superioară a atmosferei poate să crească sau să descrească în raport cu înălțimea de la suprafața solului în funcție de temperatura atmosferei. Dacă se consideră situația cea mai frecvent întîlnită, în care temperatura aerului descrește odată cu creșterea altitudinii (fig. 4.34), viteza sunetului la înălțimi mari va descreste, de asemenea, și deci frontul undei sonore va fi curbat în sus. Invers, presupunînd că temperatura aerului crește cu altitudinea (fig. 4.35) — cum este cazul întîlnit după apusul soarelui deasupra unui teren plat — viteza de deplasare a sunetului în zonele superioare ale atmosferei va fi mare, producînd curbarea spre sol a frontului de undă.

Fenomenele ce apar ca urmare a acestui mod de propagare sînt interesante pentru practica sonorizărilor, deoarece contribuie la răspîndirea energiei sonore la distanțe apreciabile. Pentru a exemplifica influența gradientului pozitiv de temperatură asupra propagării sunetului, vor fi amintite cîteva cazuri: primul este acela, în care o explozie foarte puternică a fost auzită la distanțe de 170—200 km, în timp ce la dis-

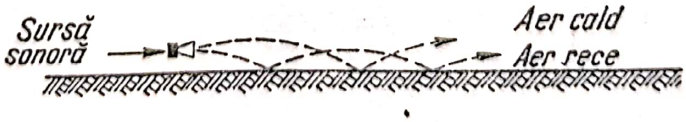


Fig. 4.35. Influența gradientului negativ de temperatură asupra propagării sunetului.

tanțe mai mici de 170 km zgomotul nu a fost perceput; un al doilea caz este cel relatat de exploratorii Arcticii, care menționează faptul că două persoane s-au putut auzi și înțelege satisfăcător chiar în cazul cînd erau separate de distanțe de aproximativ 2 km; în fine ca un al treilea caz poate fi amintită situația bine cunoscută de cei care practică turismul, că deasupra lacurilor de munte sunetul poate fi foarte bine perceput la distanțe mari.

Temperatura și umiditatea aerului influențează, de asemenea, propagarea sunetului, provocînd atenuarea acestuia. Valorile atenuărilor nivelelor sonore în condițiile acționării acestor doi factori depind de frecvența sunetului. Acest fapt rezultă de altfel și din cercetarea caracteristicilor arătate în fig. 4.36, care reprezintă — pentru cazul undelor plane — variația constantei de atenuare m în aer (exprimată în dB/100m), în funcție de umiditatea relativă, la temperatura de 20°C. Parametrul varîabil este frecvența.

Exemplu de calcul. Pentru a arăta felul în care pot fi utilizate aceste caracteristici se propune calculul atenuării, în atmosferă, a unui sunet cu frecvența de 10 000 Hz în cazul sonorizării unui teatru în aer liber. Se precizează

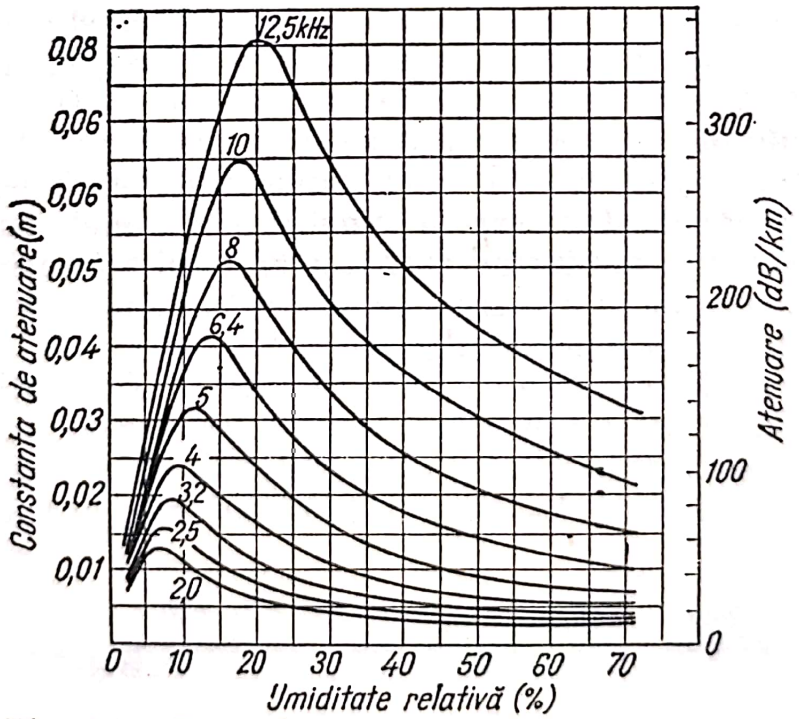


Fig. 4.36. Dependența constantei de atenuare în aer m de valoarea procentului de umiditate pentru diferite frecvențe.

că fotoliile extreme sînt amplasate la o distanță de 80 m. Temperatura este de 20°C, iar gradul de umiditate, de 20%. Pe baza acestor date preliminare, și a valorii lui m corespunzătoare, se poate întocmi calculul atenuării. Din diagramă rezultă că $m = 6$ dB/100 m. Se știe că densitatea de energie, după ce sunetul a parcurs distanța de x metri, se poate exprima prin relația

$$w_x = w_0 e^{-m'x}, \tag{4.73}$$

în care m' este constanta de atenuare pe metru liniar ($m = 100\ m'$). Înlocuind valorile respective în relația (4.73), rezultă atenuarea corespunzătoare distanței de 100 m:

$$A_t = 10 \lg \frac{w_{100}}{w_0} = 10 \lg e^{-6} = -26 \text{ dB}.$$

Deoarece distanța maximă dintre două fotolii este de 80 m, rezultă că atenuarea va fi de 21 dB.

Prin acest exemplu numeric se demonstrează cît de importantă este contribuția temperaturii și umidității aerului în atenuarea nivelului de intensitate sonoră.

În afară de factorii climatici arătați, la diminuarea calității sonorizării mai pot contribui și așa-numitele fenomene de fluctuație. Studiul condițiilor micrometeorologice ale atmosferei au condus la concluzii interesante, relevînd existența unor perturbări, care există în apropierea solului, în special în cazurile cînd acesta este puternic încălzit de soare. Variații de temperatură de 2—3°C de mai multe ori în intervale foarte scurte, la care se adaugă și acțiunea vîntului mențin aerul din vecinătatea solului în perpetuă agitație. Este necesar să se menționeze că fenomenul de fluctuație influențează mai mult sunetele de frecvență înaltă (cu lungime de undă mică) și mai puțin pe cele de frecvență coborîtă. Aceste fenomene trebuie să fie luate, de asemenea, în considerație la amplasarea surselor sonore ale unei instalații de sonorizare, preferîndu-se terenuri cît mai plate și care nu sînt încălzite excesiv de către soare.

Efectuarea unui calcul exact al influenței factorilor climatici asupra calității programului sonor, transmis prin intermediul instalației de sonorizare, este imposibilă sau în orice caz foarte dificilă. Totuși, în urma efectuării unor experimentări, s-au putut trage unele concluzii care au condus pînă la urmă la realizarea unor calcule aproximative, suficiente însă pentru obținerea ordinului de mărime a atenuării nivelului de presiune în condițiile în care există influențe ale factorilor

atmosferici. Formula de calcul propusă de Pezholdt, și care se bazează pe rezultatele unor măsurări efectuate de Benecke, este:

$$L_2 = L_1 - 20 \lg \frac{r_2}{r_1} - \Delta, \qquad (4.74)$$

în care: L_1 este nivelul de presiune la distanța r_1 față de sursa sonoră;
L_2 — nivelul de presiune la distanța r_2 față de sursa sonoră;
Δ — constanta de atenuare a cărei valoare se stabilește în funcție de situația atmosferică.

Valorile constantei de atenuare Δ, stabilite în urma efectuării unor măsurări de către Benecke, sînt date în tabelul 4.3.

Tabelul 4.3

Constanta de atenuare pentru diferite condiții de propagare a sunetului

Constanta de atenuare, Δ dB/100 m	Condiții de propagare stabilite pe cale subiectivă	Constanta de atenuare, Δ dB/100 m	Condiții de propagare stabilite pe cale subiectivă
0	Excepționale	5—6	Satisfăcătoare
1—2	Foarte bune	7—8	Rele
3—4	Bune	⩾9	Foarte rele

Exemplu de calcul. Un exemplu numeric va permite să se constate cît de mult pot influența factorii atmosferici nivelul de presiune sonoră într-un anumit punct de pe suprafața sonorizată.

Se consideră că o sursă sonoră produce la o distanță de 100 m o presiune de 4 μb. Se cere să se determine valoarea nivelului de presiune la o distanță de 400 m pentru trei situații: cînd există condiții de propagare excepționale, bune și, respectiv, foarte rele.

Pentru precizarea lucrurilor, este necesar să se definească ce se înțelege prin condiții de propagare excepționale. O atmosferă calmă sau cu vînt care bate în sensul difuzor-ascultător, un gradient pozitiv de temperatură (care curbează spre sol frontul de undă), o umiditate care să corespundă unei constante de atenuare m de valoare cît mai mică, lipsa oricărui fenomen de fluctuație, lipsa oricărui zgomot perturbator ambiant, toate acestea la un loc sînt caracteristica condițiilor excelente de propagare a sunetului.

Pentru determinarea nivelului de presiune la distanța de 100 m față de sursa de sunet, este necesar să se raporteze valoarea de 4 μb la presiunea de referință $2 \cdot 10^{-4}$ μb. Se obține $L_{100} = 86$ dB. La distanța de 400 m nivelul de presiune va fi

$$L_{400} = 86 - 20 \lg 4 = 74 \text{ dB}.$$

Așa cum rezultă din tabelul 4.3, dacă condițiile de propagare sînt excepționale, constanta de atenuare este nulă ($\Delta = 0$), dacă sînt bune $\Delta = 4$ dB/100 m; pentru

condiții foarte rele $\Delta \approx 10$ dB/100 m. Rezultă că nivelele de presiune în cele trei cazuri vor fi următoarele: $L_1 = 74$ dB; $L_2 = 74 - 16 = 58$ dB; $L_3 = 74 - 40 = 34$ dB.

Din acest exemplu numeric se poate trage concluzia interesantă că, în anumite condiții meteorologice, factorii atmosferici pot introduce perturbații atît de mari, încît descreșterea de nivel de presiune, datorită propagării în atmosfera calmă, rămîne neînsemnată.

La fel ca și în cazul sonorizărilor din încăperi, și în aer liber inteligibilitatea constituie unul din principalele obiective care trebuie realizate prin instalația de sonorizare. În această situație însă obținerea unui coeficient mare de articulație este conditionată în special de doi factori, și anume: de nivelul de zgomot ambiant și de acțiunea vîntului. În aer liber nivelul de zgomot ambiant este considerabil mai mare decît în încăperi. Neputîndu-se lua măsuri de izolare fonică și deci de reducere a zgomotului perturbator la valori admisibile, influența acestuia asupra calității sonorizării, în general, și a inteligibilității, în particular, este deosebit de puternică.

Felul în care acești factori contribuie la înrăutățirea procentului de articulație poate fi ilustrat prin rezultatele unor măsurări efectuate la un teatru în aer liber. Teatrul a cărui formă este dată în fig. 4.37 este situat în apropierea unor căi de comunicație foarte aglomerate, cu circulație foarte intensă.

Prima parte a măsurărilor s-au efectuat seara, la ora la care încep spectacolele, oră care coincide cu traficul cel mai intens. În regiunea

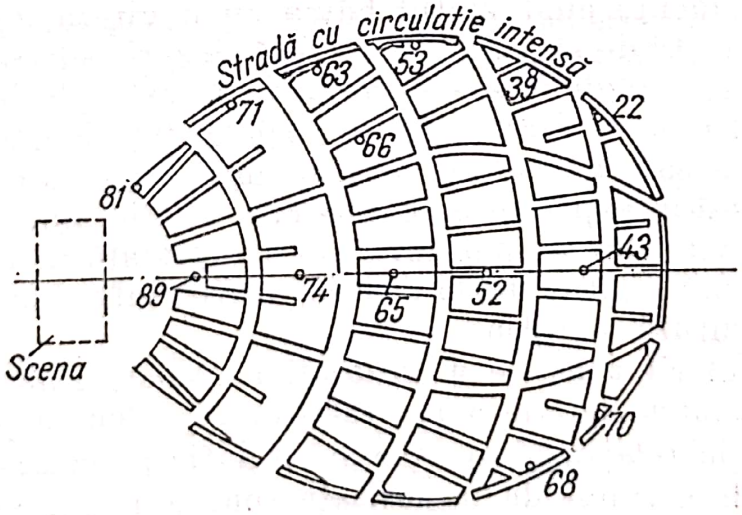


Fig. 4.37. Valori ale procentului de articulație măsurate într-un teatru situat în aer liber.

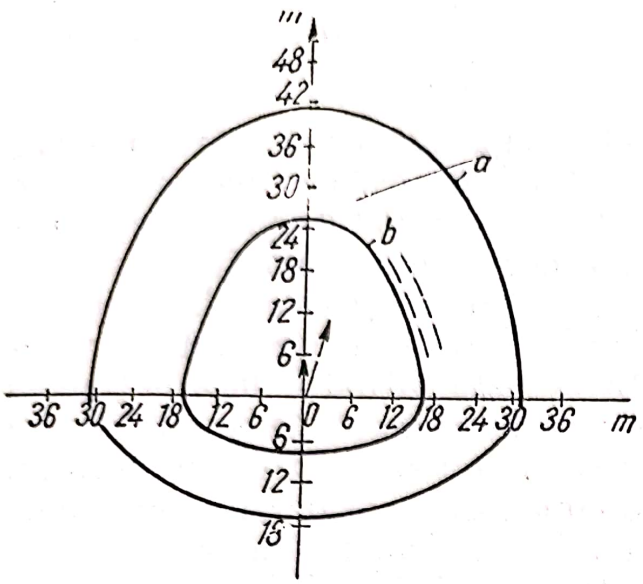


Fig. 4.38. Influența acțiunii vîntului asupra mărimii suprafeței sonorizate.

în care nivelul de zgomot atinge valori de aproximativ 45 dB, procentul de articulație este de 89%. În zonele periferice ale teatrului, și mai ales în apropierea străzilor zgomotoase, procentul de articulație scade la aproximativ 22%. Aceleași măsurări repetate în perioadele de acalmie, în primele ore ale dimineții, au condus la rezultate mult mai bune, procentul de articulație depășind, chiar în punctele cele mai depărtate de sursa sonoră, valoarea de 65%.

Rezultatele unor măsurări efectuate pentru a determina influența vîntului asupra valorii procentului de articulație sînt prezentate în fig. 4.38.

În această figură s-au marcat distanțele dintre vorbitor și ascultător, pînă la care se poate percepe programul vorbit cu un procent de articulație de 75%. Curba *a* reprezintă situația cînd atmosfera era calmă. În această situație, distanțele corespunzătoare unui procent de articulație de 75% sînt de ordinul 42 m în fața conferențiarului, 30 m în părțile laterale ale acestuia și 17 m în spatele său. O a doua serie de măsurări au fost făcute cînd vîntul bătea cu o viteză de 30—40 km/h în direcția indicată de săgeată. În această situație suprafața sonorizată scădea simțitor, ajungîndu-se ca procentul de articulație de 75% să fie obținut numai pînă la o distanță de 26 m în fața conferențiarului, de 16 m în părțile sale laterale și de 8 m în spatele său (curba *b*). Din rezultatele acestor experiențe se observă că diminuarea inteligibilității datorită vîntului se manifestă pe o suprafață al cărei perimetru se află de jur-împrejurul sursei sonore, vîntul introducînd un efect de mască care jenează audiția.

Calculul puterii acustice a instalației. Considerînd cazul surselor concentrate, pentru determinarea relației de calcul a puterii acustice se pornește de la relația (4.6). Această relație precizează că diferența dintre nivelele maxime de intensitate sonoră $L_{I\,max}$ și cele minime $L_{I\,min}$, obținute pe toată durata reproducerii sonore, este egală cu suma dintre dinamica $\mathcal{D}$ și indicele de neuniformitate ΔL.

Nivelul maxim de intensitate este definit prin relația

$$L_{I\,max} = 10 \lg \frac{I}{I_{ref}},$$

în care $I_{ref} = 10^{-12}$ W/m², iar intensitatea sonoră I este dată de relația

$$I = \frac{\mathcal{P}_a}{4\pi r^2}. \tag{4.75}$$

Introducînd în relația (4.75) factorul de directivitate Q_D se obține formula de calcul a puterii acustice.

$$\mathcal{P}_a = \frac{4\pi r^2}{Q_D} 10^{\frac{L_{I\,max}}{10} - 12}. \tag{4.76}$$

În expresia (4.76) s-a notat cu r distanța de la sursă pînă la ascultătătorul cel mai apropiat de ea. Dacă difuzorul este suspendat deasupra capului ascultătorului, r — reprezintă înălțimea sursei față de planul urechilor ascultătorului.

În cazul în care sursele sînt uniform repartizate, determinarea puterii acustice depinde de modul lor de amplasare.

Exemplu de calcul. Să se calculeze puterea acustică a unei surse sonore dintr-o instalație de sonorizare amplasată în aer liber, știind că distanța dintre sursă și primul ascultător, care se află pe axa de simetrie a sursei, este de 30 m. Prin instalația de sonorizare se vor transmite cuvîntări. Se impune ca neuniformitatea de sonorizare ΔL să nu depășească valoarea de 6dB. Prin măsurări s-a determinat că valoarea nivelului de zgomot perturbator este 54 dB.

Calculul se începe cu stabilirea valorii dinamicii. Pentru programe sonore vorbite se consideră ca mulțumitoare o valoare a dinamicii de 40 dB. În aceste condiții se poate determina nivelul maxim de intensitate sonoră $L_{I\,max}$:

$$L_{I\,max} = L_{I\,min} + \mathcal{D} + \Delta L = 54 + 40 + 6 = 100 \text{ dB}.$$

O dată calculată această valoare se poate trece la determinarea puterii acustice, cu ajutorul relației (4.76). Deoarece prin temă s-a considerat că ascultătorul este amplasat chiar în axul sursei, $Q_D = 1$ și deci

$$\mathcal{P}_a = 4 \times 3{,}14 \times 30^2 \times 10^{\frac{100}{10} - 12} = 113{,}04 \text{ W}.$$

Dacă instalația este realizată cu difuzoare cu pîlnie, al căror randament poate avea valori în jurul lui $\eta = 20\%$, se determină puterea electrică a sursei

$$\mathcal{P}_e = \frac{113}{0{,}2} = 565 \text{ W}.$$

De multe ori, însă, la dispoziția celui ce proiectează o instalație de sonorizare în aer liber nu sînt puse date referitoare la nivelul de zgomot ambiant, la caracterul programului sonor transmis (vorbă sau muzică) și totuși trebuie cunoscută valoarea puterii acustice. Alte ori se cere numai determinarea ordinului de mărime al puterii acustice. Pentru aceste cazuri speciale, cînd întocmirea unui calcul riguros exact nu este posibilă, sînt indicate în cele ce urmează valorile nivelelor de intensitate acustică, respectiv valorile nivelelor de presiune acustică, stabilite în urma efecturării mai multor experimentări. La stabilirea acestor valori, care pot fi introduse în relația (4.76) pentru calculul puterii acustice $\mathcal{P}_a$, s-a ținut seamă de nivelul de zgomot perturbator specific spațiului care se sonorizează (stadion, teatru în aer liber, aerodrom etc.) și, într-o oarecare măsură, și de condițiile atmosferice. De la început trebuie să se menționeze că nivelele de presiune indicate nu sînt stricte; mai mult, ca și în cazul sonorizărilor din încăperi, se impune adăugarea unei valori de 20 dB, care reprezintă „marginea de siguranță" necesară ca instalația să facă față și unor situații speciale cînd ar apărea unele zgomote perturbatoare neprevăzute. Valorile recomandate sînt următoarele:

— pentru locuri destinate adunărilor publice, pentru sonorizarea parcurilor, a teatrelor în aer liber, a terenurilor de tenis, a bazinelor acoperite pentru natație, a pistelor de atletism: 74 dB (presiune acustică 1 μb);

— pentru terenuri de atletism, velodromuri, terenuri mici de sport (baschet, volei): 80 dB (presiunea acustică 2 μb);

— pentru stadioane mari, peroane de gări în care opresc multe trenuri, intersecții ale unor artere cu circulație intensă, autodroame: 84 dB (presiunea acustică — 3 μb).

Amplasarea difuzoarelor. Ca și în cazul încăperilor, la sonorizările în aer liber se deosebesc trei moduri de așezare a difuzoarelor: cel al surselor concentrate, al surselor (uniform) distribuite și modul de așezare mixt.

Surse sonore concentrate. Așa cum s-a mai arătat, sonorizarea cu surse concentrate prezintă avantajul că asigură coincidența dintre axele op-

tică și acustică: ascultătorul aude sunetul din aceeași direcție din care vede sursa de sunet. Această coincidență se datorește faptului că, în majoritatea cazurilor, sursele concentrate se amplasează în apropierea sursei de sunet originale (conferențiar, orchestră etc.). Din păcate, asemenea situații favorabile pentru ascultători nu pot fi întotdeauna realizate din cauzele următoare: posibilitatea apariției reacției acustice, imposibilitatea amplasării unor surse concentrate datorită condițiilor locale, profilul necorespunzător al suprafeței ce urmează a fi sonorizată, dimensiunile excesiv de mari ale acestei suprafețe. Referitor la pericolul apariției reacției acustice, într-o instalație cu sunet auxiliar electroacustic trebuie să se menționeze că acesta se va lua în considerare mai ales în cazurile în care sînt folosite surse sonore nedirective. Din această cauză, în practică sînt preferate sursele directive, de tipul coloanelor cu difuzoare sau al difuzoarelor cu pîlnie. În condițiile utilizării unor astfel de surse, care prezintă ca o principală caracteristică concentrarea fasciculului sonor în planul vertical, pericolul apariției reacției acustice scade, așezarea microfonului putîndu-se face în zona în care sursa nu radiază.

Așa cum s-a precizat mai înainte, există uneori situații pe teren, care nu permit amplasarea unor surse concentrate în apropierea sursei de sunet originale. În acest caz se va avea în vedere ca ascultătorul să nu perceapă separat cele două surse: cea originală și cea concentrată. Această condiție este relativ ușor de îndeplinit dacă se alege o distanță convenabilă între surse, sau dacă se introduce un dispozitiv pentru întîrzierea artificială a sunetului.

Forma suprafeței de sonorizat poate împiedica, de asemenea, utilizarea surselor concentrate. Așa, de exemplu, o suprafață de formă dreptunghiulară, cu una din laturi mult mai mare decît cealaltă și, eventual, cu sursa de sunet originală amplasată în axul laturii mari, este dificil de sonorizat prin intermediul surselor sonore concentrate. Acesta este cazul tipic al stadioanelor mari la care microfonul este, de obicei, amplasat în axul uneia din cele două tribune. Situații asemănătoare se întîlnesc la sonorizarea piețelor, a scuarurilor etc.

Cea de-a patra cauză, o constituie dimensiunile excesiv de mari ale suprafeței ce urmează a fi sonorizată. După cum se știe suprafețele mari de teren implică și distanțe mari între difuzor și ascultător. De aici rezultă necesitatea de a dimensiona în așa fel sursele sonore, încît să se poată crea presiuni acustice mari, capabile să permită stabilirea unor nivele de intensitate sonoră convenabile pentru întreaga suprafață ocupată de ascultători. Dezavantajele ce apar ca urmare a utili-

Scanned with OKEN Scanner

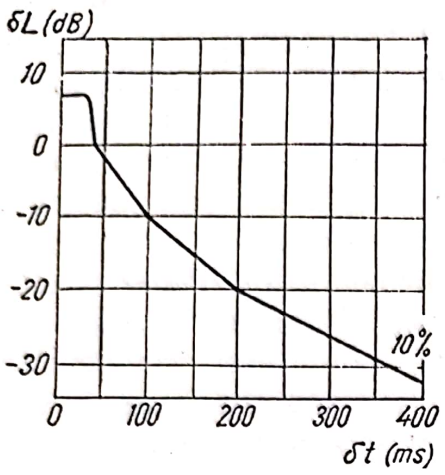


Fig. 4.39. Variația diferențelor de nivele de intensitate în funcție de întîrzierea necesară pentru evitarea ecoului.

zării unor nivele mari de intensitate acustică constau în crearea unei audiții neplăcute pentru ascultătorii situați în apropierea surselor sonore și în pericolul apariției reacției acustice.

Toate inconvenientele arătate pot fi în majoritate sau chiar în totalitate îndepărtate dacă se recurge la sistemul de aranjare a difuzoarelor uniform distribuite.

Surse sonore uniform distribuite. La proiectarea unor astfel de instalații trebuie să se aibă în vedere, pe lîngă asigurarea unei neuniformități de intensitate acustică convenabilă, și evitarea apariției ecoului. Ori de cîte ori un semnal acustic emis de un difuzor mai îndepărtat sosește cu o întîrziere mai mare decît 50 ms față de cel emis de difuzorul din apropiere, există pericolul ca ascultătorul să perceapă ecoul. Această situație poate apărea cînd sursele sonore sînt amplasate la distanțe mai mari decît 17 m. Se poate trage de aici concluzia că este recomandabil ca la așezarea difuzoarelor să se evite distanțele mai mari decît 17 m. Totuși, în aer liber, suprafețele de sonorizat fiind mari, fac foarte puțin economică distanțarea la 17 m a difuzoarelor (sînt necesare multe difuzoare și, implicit, mai multe amplificatoare de putere sau în orice caz amplificatoare de puteri mai mari). Iată de ce, în astfel de situații s-a recurs la utilizarea rezultatelor unor experimentări prin care s-a arătat că întîrzieri δt mai mari decît 50 ms nu sînt critice pentru 90% din totalul ascultătorilor dacă există anumite diferențe de nivel δL între nivelele celor două unde sonore (fig. 4.39).

În fig. 4.39 se observă că, de exemplu, dacă între cele două unde sonore, care ajung la urechile ascultătorului, există diferențe de nivel de 20 dB, se pot admite întîrzieri cu valori pînă la 200 ms, ecoul fiind perceput de numai 10% din ascultători; este necesar să se precizeze că diferența de timp de 200 ms corespunde unei diferențe de parcurs de 68 m. Pentru a scoate și mai mult în evidență importanța acestui fenomen, va fi dat un exemplu.

Se consideră situația din fig. 4.40, în care sînt reprezentate două din sursele sonore — A și B — utilizate pentru sonorizarea suprafeței de teren din apropierea unui monument avînd în plan formă pătrată cu

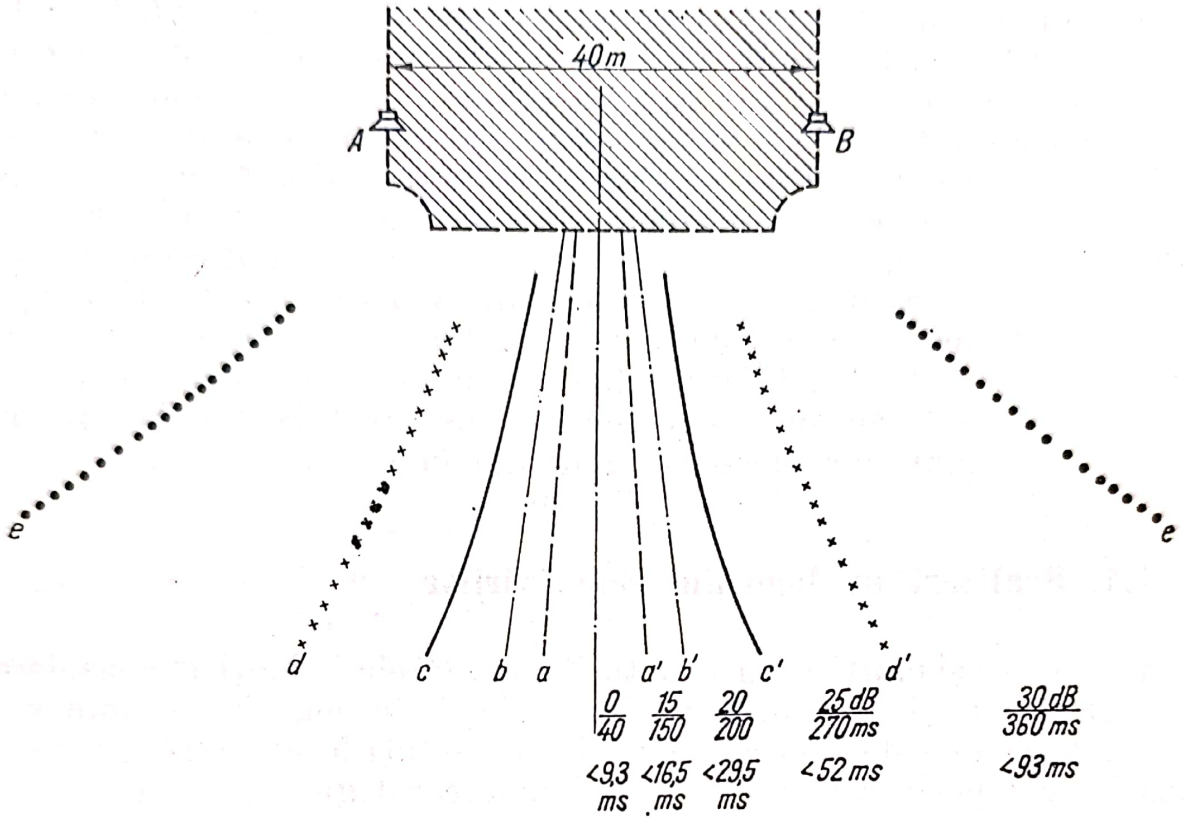


Fig. 4.40. Sonorizarea unei suprafețe de teren prin intermediul a două surse concentrate (Rapoartele indică valorile diferențelor de nivel și ale întîrzierilor rezultate din diagrama din fig. 4.39. Celelalte cifre indică valorile întîrzierilor reale).

latura de aproximativ 40 m. Sursele sonore au fost amplasate de o parte și de alta a monumentului, la o distanță egală cu latura acestuia. La realizarea sonorizării s-a urmărit, bineînțeles, pe lîngă obținerea unei neuniformități cît mai mici și evitarea ecoului. În acest scop s-a impus necesitatea efectuării unor verificări pentru a determina dacă există sau nu zone cu ecou pe suprafața ocupată de ascultători. S-au trasat astfel curbele a, b, c, d, e și simetricele lor a', b', c', d', e', care reprezintă delimitările între zonele în care diferența de nivel de intensitate δL este de 10 dB (a), 15 dB (b), 20 dB (c), 25 dB (d) și 30 dB (e).

Se observă că între linia de simetrie a suprafeței cu ascultători și limita a diferențele de nivel δL sînt mai mici decît 10 dB, iar δt este, de asemenea, mai mic decît 9,3 ms; între a și b, δL este cuprins între 10 și 15 dB, iar δt între 9,3 și 16,5 ms. Curbele b și c delimitează zona în care δL are valori de 15 dB pînă la 20 dB, iar δt de 16,5 ms pînă la 29,5 ms. Între liniile c și d valorile lui δL variază între 20 și 25 dB,

iar cele ale lui δt între 29,5 și 52 ms. În fine, între d și e, δL ia valori de la 25 dB pînă la 30 dB, în timp ce δt este cuprins între 52 ms și 93 ms. Rezultă de aici că și în zona cel mai dificil de sonorizat, cuprinsă între limitele d și e, în care diferența de parcurs a undelor sonore emise de sursele A și B ia valori mari, corespunzătoare unei întîrzieri de 93 ms, audiția este totuși bună. Într-adevăr, consultînd caracteristicile din fig. 4.39, se observă că pentru a nu fi perceput ecoul de către 90% din totalul ascultătorilor, cînd întîrzierea va avea valori de aproximativ 100 ms, diferența de nivel de intensitate acustică trebuie să fie de minimum 10 dB. În cazul de față, în zona d-e, unei diferențe de timp de 93 ms îi corespunde o diferență de nivel de 25—30 dB, prin urmare mult mai mare decît cea indicată în caracteristici.

4.4. Realizări în domeniul sonorizărilor

Varietatea și multitudinea factorilor care trebuie luați în considerare în proiectarea și realizarea unei instalații de sonorizare, impun ca fiecare problemă de sonorizare să-și aibă soluțiile ei. Astfel, forma și acustica încăperii, respectiv condițiile meteorologice, pentru instalații în aer liber, caracterul programului sonor transmis (vorbit sau muzical), nivelul de zgomot ambiant, mărimea suprafeței ce trebuie sonorizată, calitatea tehnică a echipamentului electroacustic utilizat, constituie factori ce pot interveni — în totalitate sau parțial — într-o măsură mai mare sau mai mică, putînd prejudicia calitatea sonorizării sau, chiar, în anumite cazuri, compromițînd-o total. Este de la sine înțeles că, chiar în aceste condiții, cea mai gravă greșeală ce se poate face este aceea de a împrumuta soluțiile, de a le considera universal valabile și de a le prelua fără nici o verificare, chiar dacă au dat satisfacții în alte cazuri.

Acestea sînt motivele pentru care se consideră că descrierile ce vor fi făcute în cadrul acestui capitol, pentru soluțiile de sonorizare a unor încăperi sau suprafețe de teren din aer liber, nu au drept scop să constituie modele care să fie preluate și aplicate întocmai în diferitele cazuri ce se pot ivi în practică; prin intermediul lor se poate observa însă modalitatea de a traduce în fapt conținutul noțiunilor cu caracter teoretic ce au fost prezentate în cadrul acestei lucrări.

Descrierile au fost împărțite în două categorii: prima este cea a sonorizărilor din încăperi, iar a doua a sonorizărilor suprafețelor situate în aer liber.

Scanned with OKEN Scanner

4.4.1. *Realizări privind sonorizarea încăperilor*

Sonorizarea unei săli de teatru. Decorul sonor este un mijloc de acțiune indispensabil regizorului artistic, deoarece el contribuie la întărirea dinamismului de expresie a actorului. Sunetul trebuie să acompanieze jocul scenic și să-l susțină, contribuind împreună cu luminile la introducerea actorului și spectatorului în atmosfera dorită de autorul piesei și de regizor. În momentul de față tehnicienii teatrelor au la dispoziție multitudinea resurselor electroacustice care au apărut o dată cu așa-numita „înaltă fidelitate" a reproducerii sunetului și cu dezvoltarea stereofoniei.

Instalația de sonorizare a unui teatru are importanta misiune de a crea pentru actori și spectatori varietatea de ambianțe pe care și le-a imaginat autorul piesei. Ea trebuie să răspundă cu suplețe la toate imperativele de punere în scenă clasică și modernă. Într-o sală de teatru instalația de sonorizare trebuie să facă față următoarelor cerințe principale:

— să creeze decoruri sonore rezultate din reproducerea unor înregistrări de înaltă calitate;

— să difuzeze sunetele stereofonice și panoramice în sală (fie ca rezultat al unei captări sonore directe, fie ca reproducere a unor înregistrări de pe bandă de magnetofon sau disc);

— să modifice în mod artificial acustica sălii, în vederea reproducerii unor sunete muzicale sau a unor efecte sonore particulare (ca, de exemplu, crearea unei ambianțe ca cea din interiorul unei catedrale).

O asemenea instalație complexă se găsește la Sala Palatului R.S.R. Deoarece echipamentul electroacustic pentru sonorizarea acestei săli a fost descris în lucrările de specialitate[1]) apărute, în acest capitol va fi prezentată o instalație modernă realizată recent, aceea de la Teatrul Național Popular din Paris (din Palatul Chaillot).

Reproducerea muzicii în această sală se realizează prin intermediul unor difuzoare multiple, care permit, pe de-o parte, reproducerea sunetelor de frecvență medie și înaltă (2 grupe de cîte 12 difuzoare orientate astfel, încît să se obțină o repartizare uniformă a sunetului pe toată suprafața sălii), iar pe de altă parte reproducerea frecvențelor joase prin intermediul a 2 grupe formate din cîte 4 incinte cu difuzoare.

[1]) Necșulea, A. *Electroacustica în sonorizare*. București, Editura tehnică, 1963.

Scanned with OKEN Scanner

Ansamblul este completat cu 46 difuzoare convenabil repartizate la periferia superioară a sălii, care au drept scop să difuzeze sunetele reverberate.

Sala mai este prevăzută și cu o instalație de ambiofonie, realizată cu un dispozitiv de întîrziere a sunetului, bazat pe principiul înregistrării magnetice. Dispozitivul poate produce patru repetări ale semnalului original, iar un circuit special permite reinjectarea și reglarea semnalelor la intrarea sa în vederea obținerii unei durate de reverberație corespunzătoare (fig. 4.41).

Cele patru semnale sonore întîrziate pot fi difuzate în sală prin intermediul a 4 amplificatoare de putere a cîte 70 W fiecare și a celor 46 difuzoare menționate mai înainte. Difuzoarele împărțite și ele în 4 grupe, potrivit celor 4 ieșiri ale dispozitivului, sînt repartizate așa cum se observă în fig. 4.41, *a*.

La instalația pentru reproducerea stereofonică a sunetului se adaugă echipamentul electroacustic necesar deplasării imaginilor sonore, care permite rotirea pe tot perimetrul sălii, în ambele sensuri și cu viteze diferite, a surselor de sunet virtuale, traversări ale sălii de la o anumită distanță, imaginară, pînă la scenă, deplasări urmînd ca traseu diagonala sălii.

Multiplele posibilități ale acestei instalații sînt asigurate printr-un echipament care cuprinde un pupitru de regie tehnică prevăzut cu 9 căi de intrare pentru microfoane sau linii de program ce sosesc din exterior; 5 căi de intrare pentru surse exterioare; 8 căi de intrare pentru magnetofoane și disclectoare; posibilitatea de a mixa 14 surse de program și a le repartiza pe 8 ieșiri. Distribuția sunetului în sală se face prin intermediul a 17 amplificatoare cu puterea de 70 W fiecare.

Sonorizarea unei săli pentru spectacole festive. Pentru a exemplifica o astfel de problemă de sonorizare s-a ales sala „Festspielhaus" din Salzburg, una din cele mai moderne, atît din punctul de vedere al arhitecturii cît și al dotării tehnice. Instalația este astfel concepută, încît să dea satisfacție atît în cazul utilizării ei pentru spectacole de teatru, cît și pentru cele muzicale. La această sală este de remarcat instalația de sunet panoramic, care, prin intermediul unui echipament automat realizat cu relee, face posibilă circulația sunetului înainte și înapoi, rotirea pe întreg perimetrul sălii și traversarea sălii în diagonală. Instalația este comandată cu ajutorul unor selectoare care acționează asupra grupelor de difuzoare, ceea ce asigură continuitatea mișcării imaginii sonore. Difuzoarele folosite în echipamentul de sunet panoramic fac parte și din instalația de ambiofonie. Comutarea

Scanned with OKEN Scanner

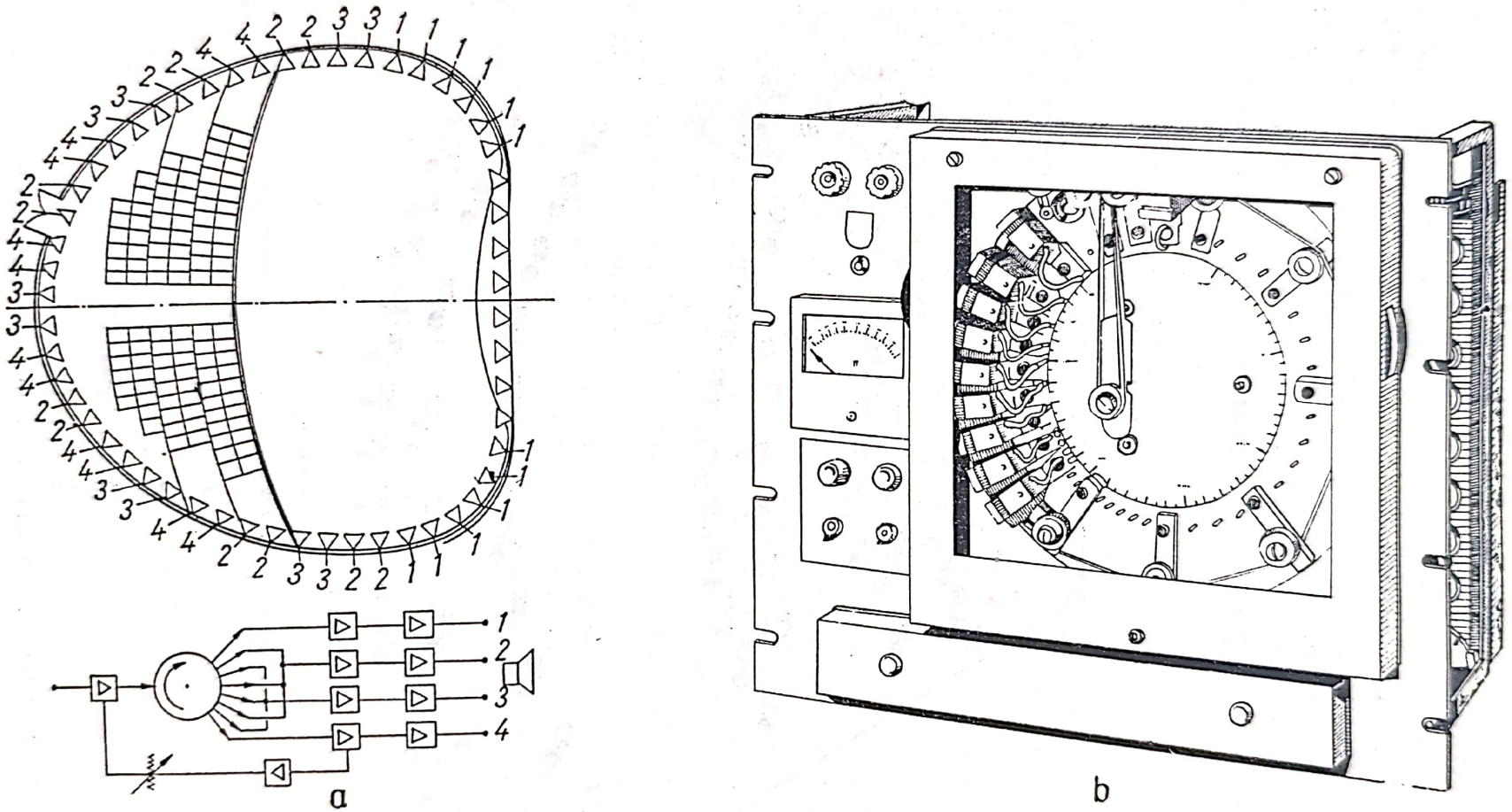


Fig. 4.41. Sonorizarea unei săli de teatru prevăzută cu instalație de ambiofonie:
a — amplasamentul difuzoarelor de ambiofonie; *b* — dispozitiv de întîrziere Philips EL 6911/01

lor de pe o instalație pe alta se face cu ajutorul unor relee. Reproducerile stereofonice ale sunetului sînt posibile, prin utilizarea a două coloane cu difuzoare, amplasate în stînga și în dreapta scenei. Fiecare coloană este alcătuită din 20 difuzoare a 10 W și este asociată cu o casetă conținînd 2 difuzoare de 30 W. Difuzoarele care alcătuiesc coloanele au axele lor de simetrie astfel orientate, încît să se înscrie pe o elice.

În fig. 4.42 s-au prezentat schematic atît difuzoarele care au o

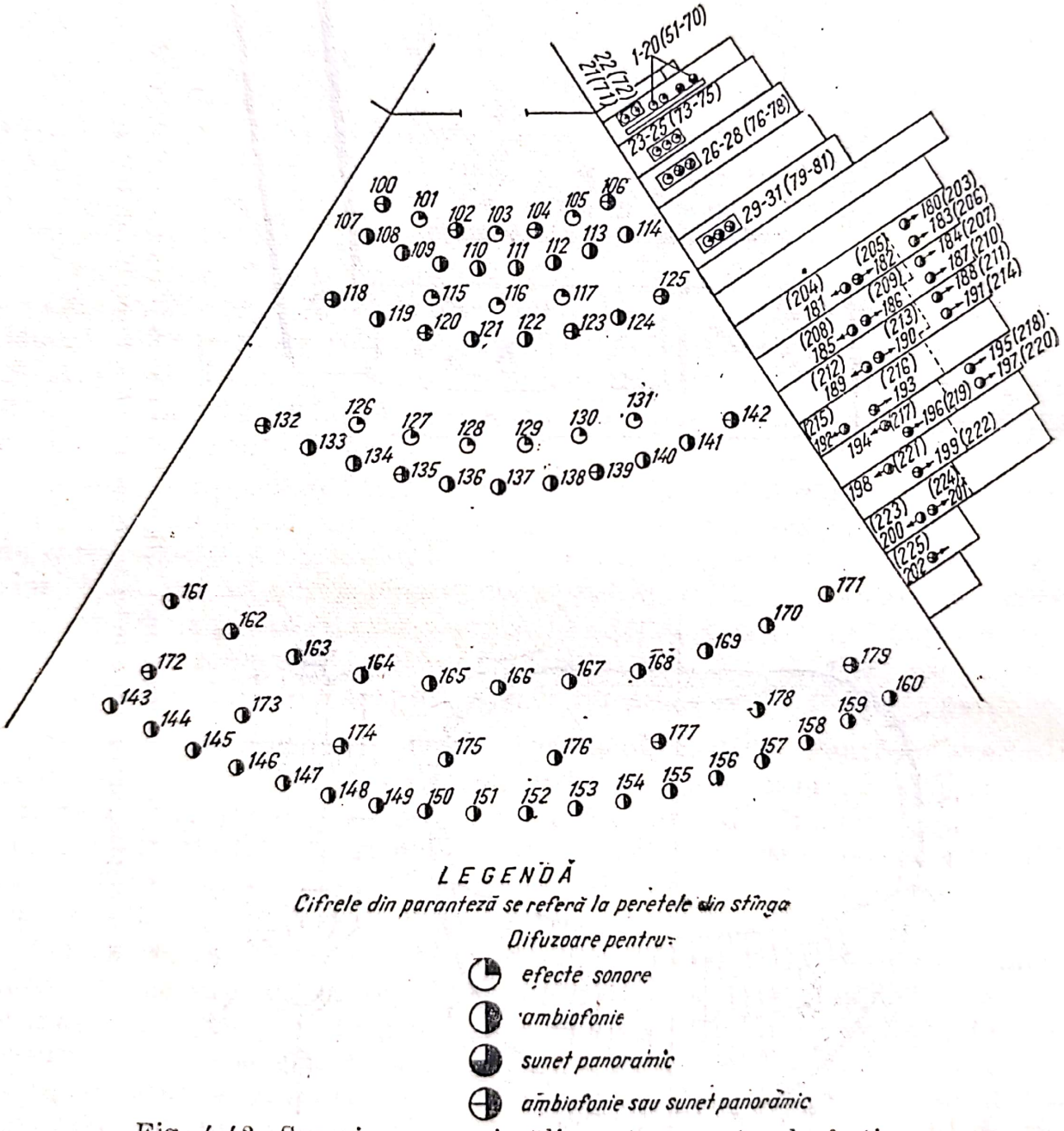


Fig. 4.42. Sonorizarea unei săli pentru spectacole festive.

utilizare multiplă pentru efecte sonore, ambiofonie, sunet panoramic cît și cele care sînt folosite numai pentru ambiofonie sau pentru sunet panoramic. După cum se observă, numărul total al difuzoarelor care intră în componența instalației este mare, fiind de ordinul a 200 bucăți.

Sonorizarea unui pavilion de expoziție. Instalația electroacustică a unui pavilion de expoziție de mari dimensiuni (formă circulară avînd diametrul de aproximativ 100 m și înălțimea de aproximativ 40 m) trebuie să permită să se execute următoarele operații:

— difuzarea unor anunțuri pentru vizitatorii expoziției; anunțurile pot fi făcute atît din zona în care sînt exponatele, cît și dintr-o încăpere special amenajată;

— difuzarea unor programe muzicale destinate, de asemenea, vizitatorilor;

— difuzarea pentru vizitatorii de pe toată suprafața pavilionului a prezentărilor de exponate însoțite de explicații, aceste prezentări putîndu-se desfășura atît într-o zonă din apropierea centrului său cît și într-o altă zonă situată în imediata vecinătate a intrării principale.

Sursele sonore din incinta expoziției au fost astfel proiectate și amplasate, încît să fie îndeplinite următoarele condiții:

— să se ajungă la maximul posibil cu raportul dintre sunetul direct și cel reflectat (durata de reverberație a sălii fiind mai mare decît 4 s);

— să se asigure coincidența între axa vizuală și cea auditivă, indiferent dacă sursa de sunet originală se găsește în centrul pavilionului sau la extremitatea unuia din diametrele sale (în apropierea intrării principale);

— să se realizeze un cîmp acustic cît mai uniform și un nivel de presiune acustică de cel puțin 90 dB pe toată suprafața ocupată de public.

În vederea traducerii în fapt a acestor cerințe s-au prevăzut în instalația de sonorizare următoarele surse: coloana cu difuzoare centrală, coloanele cu difuzoare marginale, rețeaua de difuzoare auxiliară.

Coloana cu difuzoare centrală (fig. 4.43) este alcătuită din 6 arcuri circulare de surse sonore punctiforme, egale și sinfazice. Fiecare arc este format din 5 difuzoare cu puterea de 25 W fiecare, așa încît întreaga coloană cuprinde 30 difuzoare, însumînd o putere electrică de 750 W. Fiecare arc, cu o deschidere de $\frac{\pi}{4}$ radiani, și o rază $r = 3{,}18$ m, prezintă o caracteristică de directivitate, care asigură o neuniformitate

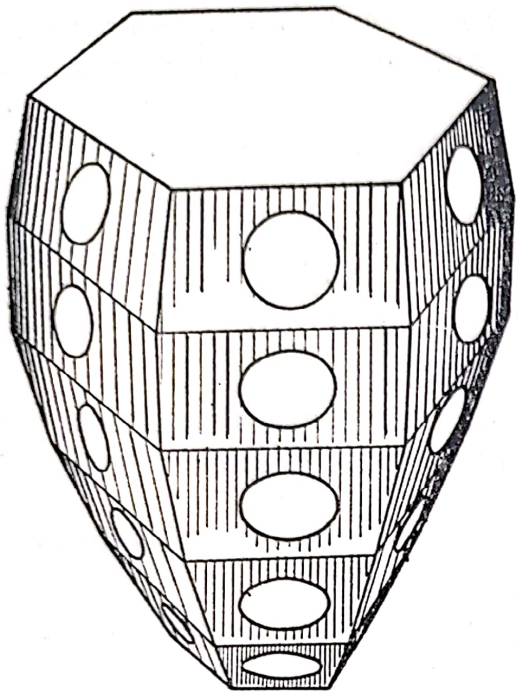


Fig. 4.43. Coloana cu difuzoare centrală.

de sonorizare $\Delta L = 4{,}4$ dB, începînd chiar cu centrul pavilionului.

Coloana centrală este amplasată în centrul pavilionului, la înălțimea de 17 m. Coarda care delimitează fiecare arc cu difuzoare face cu orizontala un unghi de 75°. Unghiul între două difuzoare adiacente este de 9°.

Coloanele cu difuzoare marginale sînt amplasate de o parte și de alta a intrării principale. Distanța dintre cele două coloane este de 15 m. Fiecare dintre coloane cuprinde 12 difuzoare, cu puterea de 25 W fiecare, suprapuse pe o înălțime de 13 m. Difuzoarele sînt astfel aranjate, încît axele lor formează o elice. În acest mod se obține aceeași intensitate sonoră și aceeași deschidere a fasciculului sonor, atît petru vizitatorii cei mai apropiați de coloană cît și pentru cei mai îndepărtați.

Rețeaua de difuzoare auxiliară este folosită pentru reducerea efectelor negative ce apar ca urmare a existenței unor distanțe mari între principalele surse de sunet — coloana cu difuzoare centrală și coloanele cu difuzoare marginale — și ascultători (reduceri mari ale nivelului de intensitate sonoră și intercalarea unor ecrane constituite de platformele circulare). Difuzoarele auxiliare au fost amplasate pe intradosurile celor două platforme circulare și pe stîlpii care mărginesc inelul de circulație de la periferia pavilionului. Difuzoarele montate pe platformele circulare au fiecare o putere electrică de 2,5 W și sînt distanțate la aproximativ 3 m, iar cele de pe stîlpi au puterea electrică de 25 W și sînt distanțate la aproximativ 10 m.

Utilizarea rețelei auxiliare de difuzoare, care funcționează fie împreună cu coloana centrală, fie cu coloanele marginale, impun introducerea unor întîrzieri artificiale ale sunetului în limitele prevăzute de teoria lui Haas. În acest scop, instalația de sonorizare a fost prevăzută cu două dispozitive de întîrziere artificială a sunetului, de tipul magnetofon cu buclă de bandă.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru situația în care rețeaua de difuzoare auxiliare funcționează simultan cu coloanele cu difuzoare marginale, întîrzierile ce se introduc prin intermediul dispozitivului sînt date în tabelul 4.4.

Tabelul 4.4

Întîrzieri corespunzătoare rețelei de difuzoare auxiliare în cazul unei funcționări simultane cu coloanele cu difuzoare marginale

Distanța față de sursa de sunet originală m	Zona	Întîrzierea ms	Dispozitiv de întîrziere nr.	Ieșire dispozitiv întîrziere nr.
10	0	0	—	—
20	1	45	1	1
30	2	75	1	2
40	3	105	1	3
50	4	135	1	4
60	5	165	2	1
70	6	195	2	2
80	7	225	2	3
90	8	255	2	4

Dacă rețeaua cu difuzoare auxiliară funcționează simultan cu coloana cu difuzoare centrală, întîrzierile artificiale ale sunetului sînt cele din tabelul 4.5.

Tabelul 4.5

Întîrzieri corespunzătoare rețelei de difuzoare auxiliare în cazul funcționării simultane cu coloana cu difuzoare centrale

Distanța față de sursa de sunet originală m	Zona	Întîrzierea ms	Dispozitivul de întîrziere nr.	Ieșire dispozitiv întîrziere nr.
50	1	135	1	4
60	2	165	2	1

Repartizarea pe zone a rețelei de difuzoare auxiliare este indicată în fig. 4.44.

Scanned with OKEN Scanner

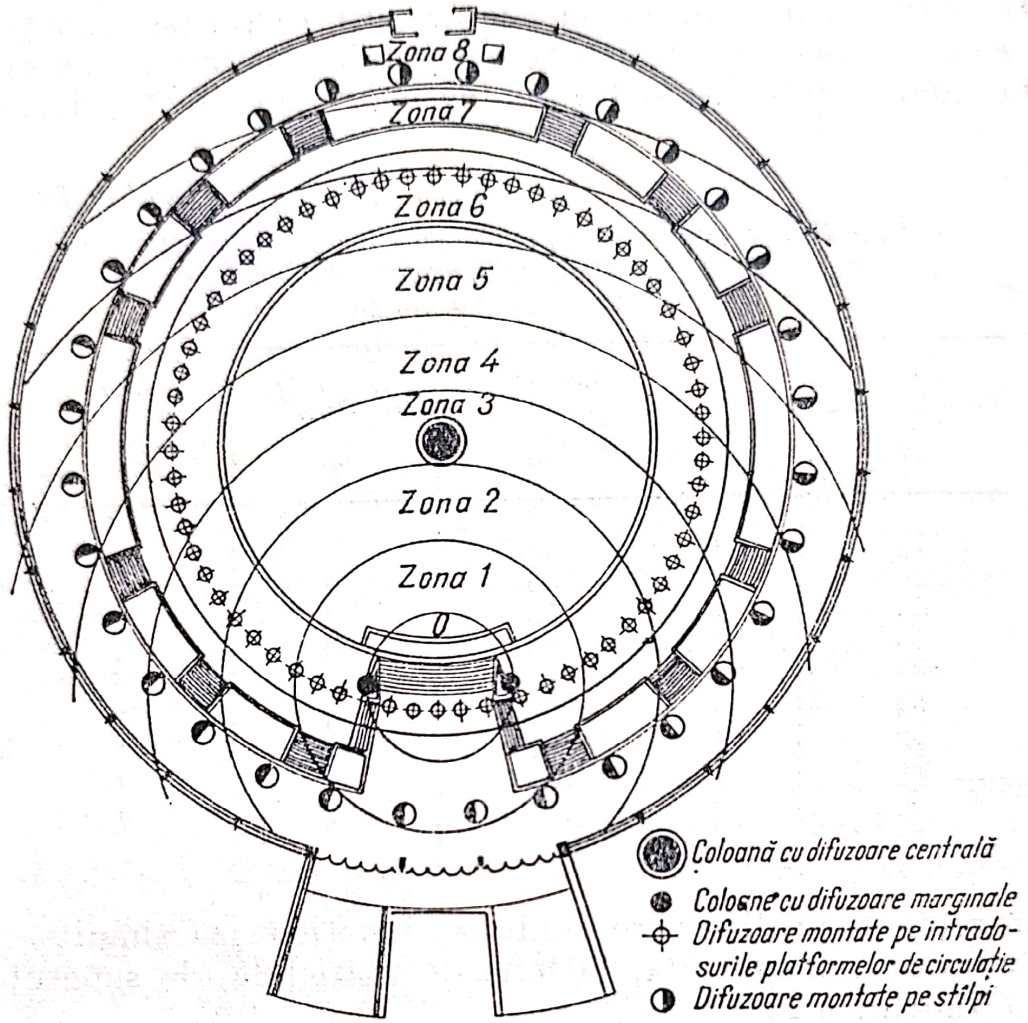


Fig. 4.44. Amplasamentul surselor sonore în pavilionul de expoziție.

Instalația electroacustică de sonorizare (fig. 4.45), la care sînt conectate difuzoarele din incinta pavilionului, este alcătuită dintr-un echipament fix, montat într-o încăpere de regie și un altul mobil. Posibilitățile instalației sînt următoarele:

— înregistrarea și redarea în pavilion a programelor sonore vorbite (anunțuri, prezentări de exponate etc.);

— înregistrarea și redarea în pavilion a programelor muzicale (de pe disc sau bandă magnetică);

— întîrzierea artificială a sunetului captat direct sau reprodus;

— comutare rapidă a circuitelor prin care se transmit programele sonore;

— controlul vizual și auditiv al nivelelor semnalelor acustice;

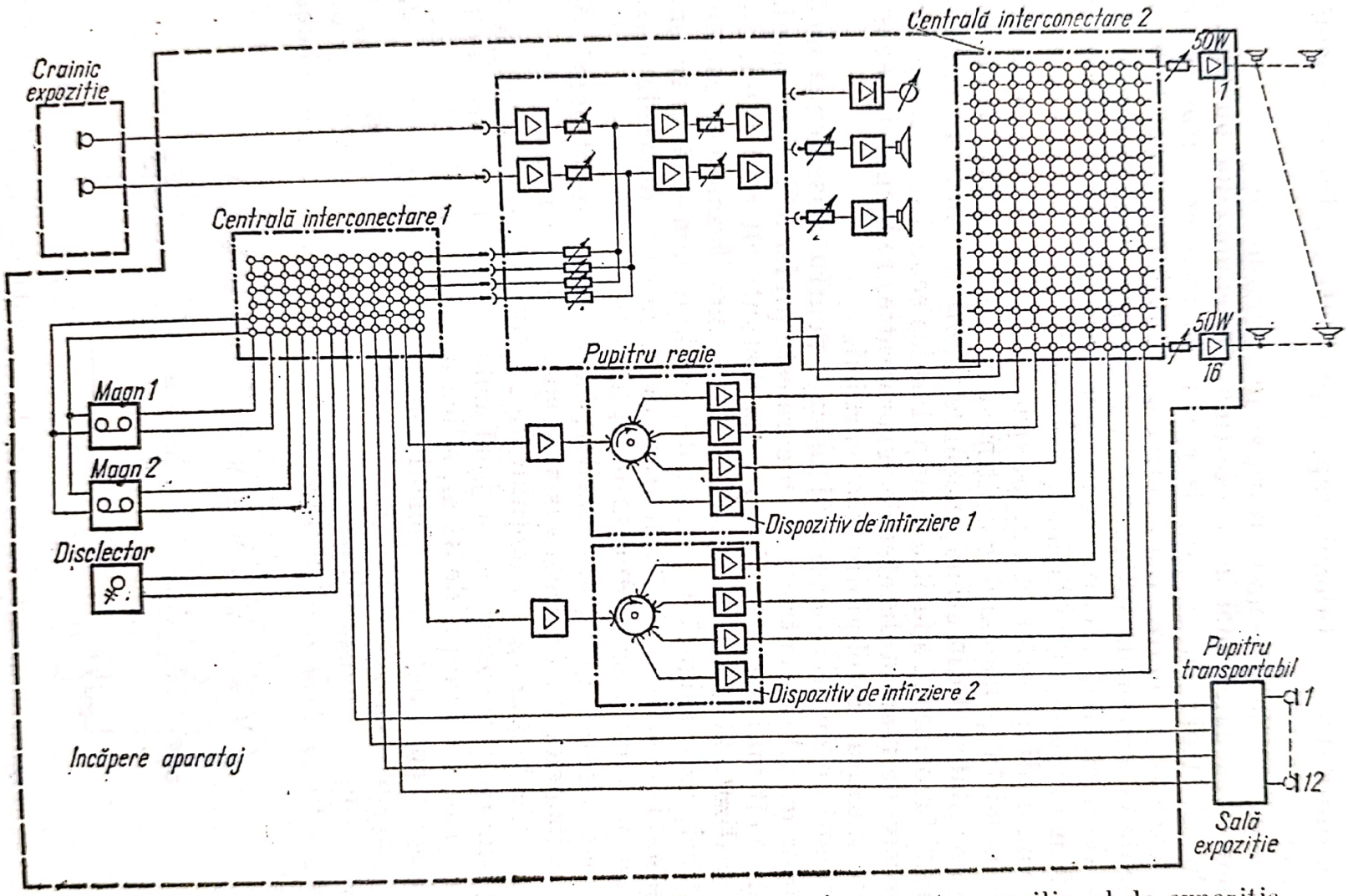


Fig. 4.45. Schema-bloc a instalației electroacustice de sonorizare pentru pavilionul de expoziție.

— posibilitatea de etalonare rapidă prin intermediul unui generator cu 5 frecvențe fixe;

— posibilitățile de semnalizare și intercomunicație.

Sonorizarea halei unei uzine, destinată și adunărilor publice. Acest exemplu este tipic pentru sonorizarea încăperilor cu durată de reverberație excesiv de mare. Este vorba de sonorizarea unei hale de fabricație de la uzinele de automobile Volkswagen. Dimensiunile aproximative ale încăperii, în care pot încăpea aproximativ 35 000 salariați, sînt 250 m lungime, 80 m lățime și 8 m înălțime. Plafonul este coborît și în formă de dinți de ferăstrău, iar șiruri de stîlpi din beton împart suprafața halei în „coridoare" cu lățimea de aproximativ 25 m. Pereții din beton, plafonul din sticlă, mașinile unelte cu înălțimi mari de cîțiva metri favorizează apariția unor puternice ecouri și determină valoarea excesiv de mare a duratei de reverberație, reducînd în acest fel, în mare măsură, inteligibilitatea vorbirii.

Sistemul de sonorizare cel mai adecvat pentru o asemenea încăpere este, desigur, cel descentralizat, în care este preferabil să se amplaseze un număr cît mai mare de difuzoare la distanțe cît mai mici. Sursele sonore utilizate în cazul de față sînt coloane cu difuzoare orientate spre ascultători, care asigură un nivel de presiune acustică suficient de mare pînă la distanța de 32 m. Din acest motiv coloanele cu difuzoare au fost amplasate din 32 m în 32 m.

Pentru evitarea apariției ecourilor, ca urmare a funcționării simultane a coloanelor cu difuzoare, s-a impus ca necesară utilizarea unui dispozitiv de întîrziere a sunetului (fig. 4.46) care să introducă între undele sonore care sosesc de la două coloane cu difuzoare întîrzieri corespunzătoare distanței de 32 m, adică de aproximativ 100 ms.

Utilizarea coloanelor cu fascicul sonor foarte concentrat în planul vertical, și cu o caracteristică de directivitate foarte largă în planul orizontal (din care cauză difuzoarele s-au amplasat cu axele lor de simetrie pe o elice), a făcut posibilă traducerea în fapt a celor două dezide-

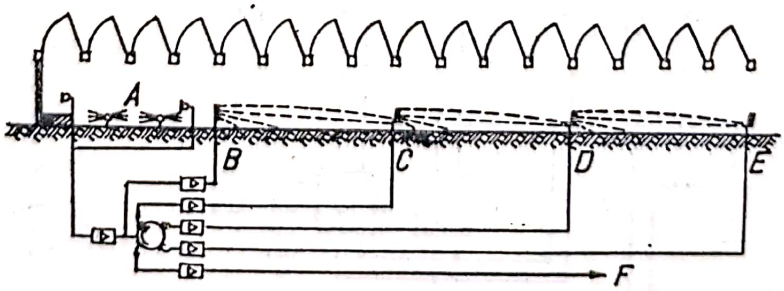


Fig. 4.46. Conectarea difuzoarelor din hala unei uzine la dispozitivul de întîrziere.

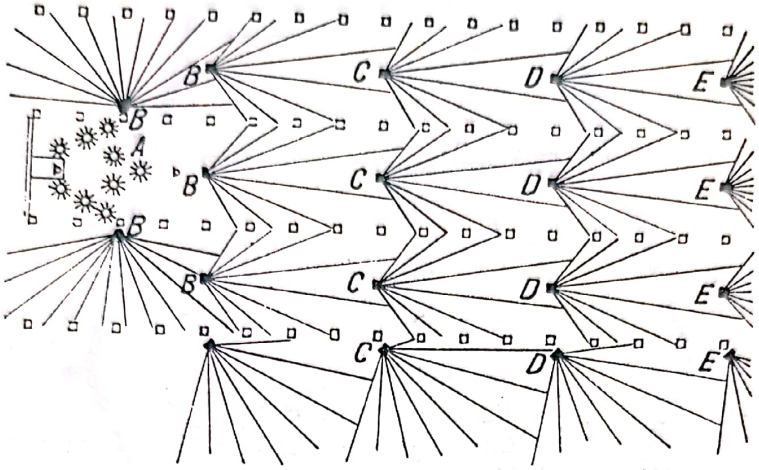


Fig. 4.47. Amplasamentul coloanelor cu difuzoare în hala uzinei:
A — difuzoare cu radiație circulară; *B*, *C*, *D*, *E* — coloane cu difuzoare.

rate: evitarea ecourilor din plafon și acoperirea „coridoarelor" pe toată lungimea lor de 25 m (fig. 4.47).

Mai este necesar să se menționeze că pentru membrii prezidiului adunării s-au amplasat la nivelul capetelor lor difuzoare cu radiație circulară care prezintă un dublu avantaj: asigură un nivel de intensitate sonoră relativ mic și deci plăcut și evită apariția reacției acustice.

Sonorizarea unei săli de ședințe. Instalația pentru sonorizarea sălii de ședințe prezentată în fig. 4.48, *a* este prevăzută cu 5 canale electroacustice.

Patru din aceste canale *1—4* servesc pentru sonorizarea sectoarelor ocupate de participanții la ședință, iar al *5*-lea este destinat sonorizării suprafeței ocupată de prezidiul adunării. Elementul final al fiecărui canal îl constituie un ansamblu de difuzoare montat în plafonul sălii și situat aproximativ în centrul de greutate al fiecărui sector. El este alcătuit dintr-o incintă cu difuzoare, care are drept scop redarea sunetelor de frecvență joasă și dintr-un difuzor cu pîlnie pentru redarea frecvențelor înalte.

Pericolul apariției reacției acustice între microfoanele din sală, care se folosesc la captarea replicilor participanților la ședințe și difuzoarele situate pe aceeași verticală este înlăturat datorită felului în care sînt amplasate difuzoarele în plafon (fig. 4. 48,*b*). Fasciculul sonor radiat de difuzorul pentru frecvențe înalte este dispersat de caseta care conține difuzoarele pentru frecvențe joase și care, la rîndul lor, radiază lateral.

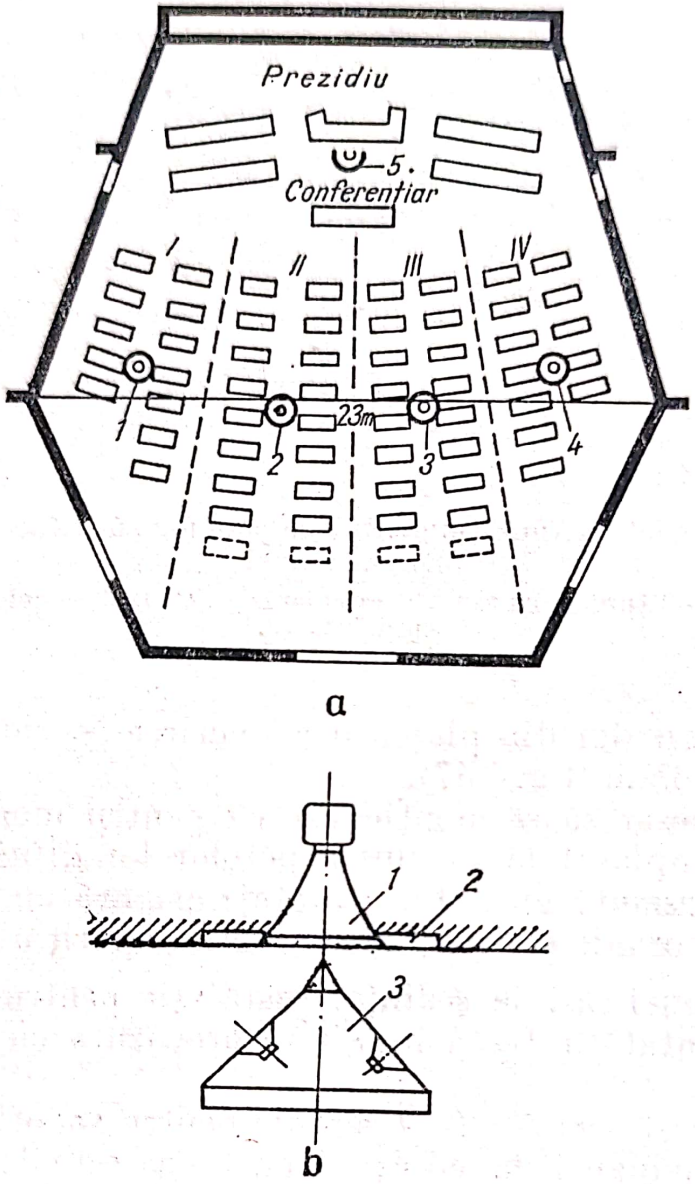


Fig. 4.48. Sonorizarea unei săli de ședințe:
a — amplasamentul surselor; *b* — realizarea ansamblului de difuzoare: *1* — difuzor pentru reproducerea frecvențelor înalte; *2* — reflector; *3* —difuzor pentru reproducerea frecvențelor joase.

Amplasarea judicioasă a grupurilor de difuzoare la distanțe de aproximativ 6 m, corespunzînd unor întîrzieri de 18 ms, a permis obținerea unor audiții de calitate, cu un mare procent de articulație.

Sonorizarea unei săli de restaurant. Pentru sala de restaurant, al cărei plan este schițat în fig. 4.49, s-a aplicat sistemul de sonorizare combinat.

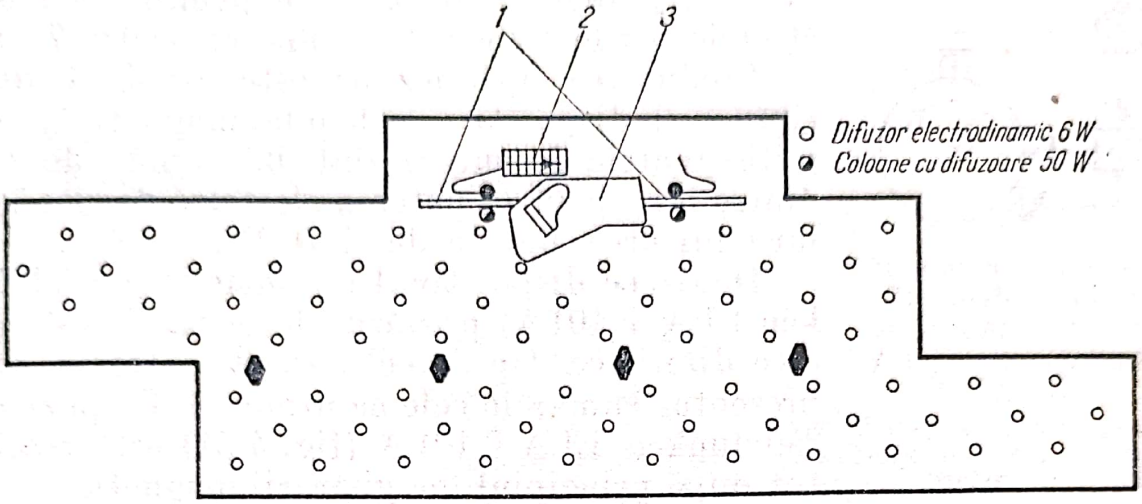


Fig. 4.49. Sonorizarea unei săli de restaurant cu surse sonore uniform distribuite:
1 — pereți mobili; *2* — scară acces orchestră; *3* — podium mobil orchestră.

Sursele concentrare sînt reprezentate de două coloane cu difuzoare cu puterea de 50 W fiecare, amplasate în fața peretelui mobil, în dreptul celor doi stîlpi cu secțiune circulară. Distanța între aceste două coloane este de 8 m. Sursele uniform distribuite sînt alcătuite din difuzoare cu puterea de cîte 6 W, amplasate în plafonul sălii restaurantului, deasupra unor plăci perforate din aluminiu. Cele două coloane și difuzoarele din imediata vecinătate a podiumului orchestrei sînt conectate, prin intermediul amplificatoarelor de putere, direct la ieșirea pupitrului de regie tehnică (fig. 4.50). Celelalte difuzoare au fost împărțite

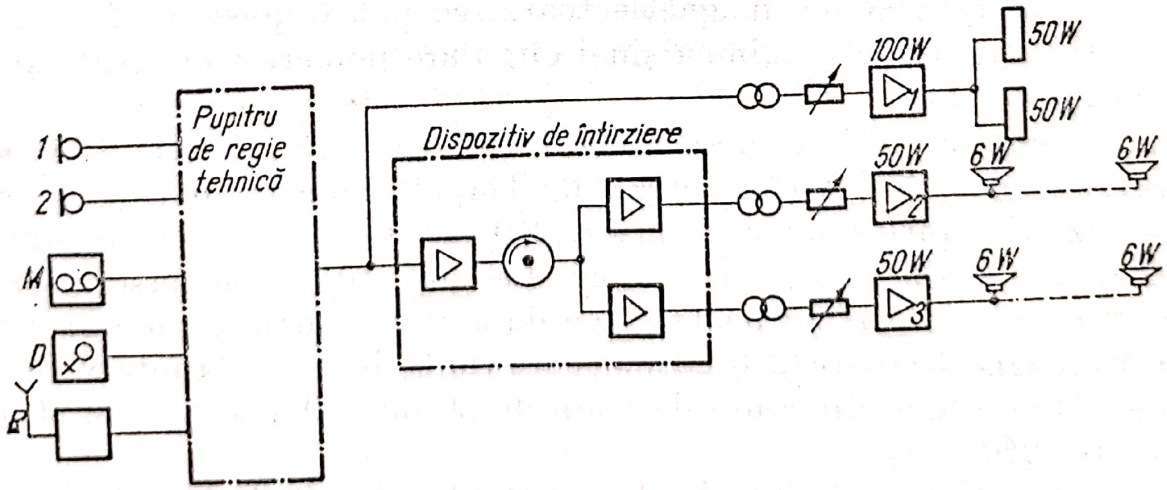


Fig. 4.50. Schema-bloc a instalației electroacustice pentru sonorizarea unei săli de restaurant.

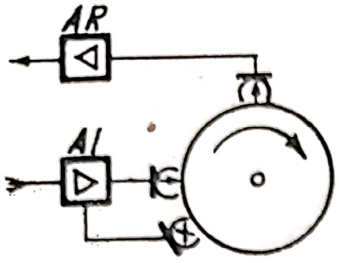


Fig. 4.51. Schema de principiu a dispozitivului de întîrziere Telefunken tip ELA T 101 A:
AI — amplificator de înregistrare; *AR* — amplificator de redare.

în două grupe, fiecare din ele primind semnale electrice cu întîrzieri de 45 ms, respectiv 75 ms.

Producerea întîrzierilor este posibilă datorită unui dispozitiv cu bandă magnetică. Amplificatoarele de putere sînt în număr de trei, dintre care două au puterea electrică de cîte 50 W iar unul are o putere de 100 W.

Deoarece dispozitivul de întîrziere (Telefunken ELA T 101 A) prevăzut în această instalație este diferit ca tip de cel descris anterior, va fi prezentat sumar în cele ce urmează. Dispozitivul Telefunken ELA T 101 A (fig. 4.51) este realizat tot după principiul înregistrării magnetice, fiind alcătuit dintr-un disc, care la periferia sa are un strat magnetic. Amplificatorului său de înregistrare *AI*, care cuprinde și oscilatorul, îi sînt conectate atît magnetscriptorul cît și demagnetizorul. Magnetlectorul este conectat la amplificatorul de redare *AR*. Viteza de rotație a discului și distanța magnetscriptor — magnetlector determină durata întîrzierii. Bineînțeles, că și în acest caz, prin utilizarea mai multor magnetlectoare se pot crea diferite întîrzieri pentru sunetele reproduse. Este necesar să se menționeze că toate magnetlectoarele sînt distanțate la 30 μ față de stratul magnetic de la periferia discului. Dispozitivul este prevăzut cu o semnalizare „fără întîrziere“ care avertizează defectarea oscilatorului sau lipsa premagnetizării. Fiecare amplificator de redare și înregistrare este prevăzut cu partea sa separată de alimentare.

Numărul maxim de magnetlectoare ce pot fi puse în funcțiune simultan depinde de lungimea șinei circulare pe care sînt fixate și de dimensiunile lor.

Întîrzierea minimă se determină, de asemenea, în funcție de viteza de rotație a discului. Astfel, vitezei de 3 m/s îi corespunde un domeniu de întîrzieri cuprins între 20 ms și 240 ms. Cea mai mică întîrziere (20 ms) este egală cu cea mai mică distanță între magnetscriptor și primul magnetlector. Se poate trage de aici concluzia că pot fi utilizate 12 magnetlectoare (240:20 ms), care vor fi decalate la intervale corespunzătoare unei diferențe de timp de 20 ms (20 ms, 40 ms, 60 ms pînă la 240 ms).

Caracteristicile tehnice ale dispozitivului Telefunken ELA T 101A sînt următoarele:

Scanned with OKEN Scanner

— vitezele de rotaţie ale discului: 0,4 m/s
0,8 m/s
2,0 m/s
3,0 m/s

— domeniul duratelor de întîrziere: 150 ... 1 800 ms
(reglabile continuu) 75 ... 900 ms
30 ... 360 ms
20 ... 240 ms

— caracteristicile de frecvenţă pentru vitezele de:
0,4 m/s : 50 Hz ... 5 kHz ± 3 dB
0,8 m/s : 50 Hz ... 9 kHz ± 3 dB
2,0 m/s : 50 Hz ... 13 kHz ± 3 dB
3,0 m/s : 50 Hz ... 16 kHz ± 3 dB

— nivelul de zgomot ponderat:
(raportat la o tensiune de ieşire de 500 mV) ⩾ 54 dB (0,4 m/s)
⩾ 60 dB (0,8 m/s)
⩾ 60 dB (2,0 m/s)
⩾ 60 dB (3,0 m/s)

— dimensiunile dispozitivului: 406 × 520 mm
(adîncime 390 mm)

— greutatea dispozitivului
(fără amplificatoare şi magnetscriptor,
magnetlectoare şi demagnetizor): 16,8 kg
— greutatea unui magnetlector, inclusiv suportul 0,43 kg

Sonorizarea unui hotel. O instalaţie pentru sonorizarea unui hotel (fig.4.52) prezintă, poate, mai puţin interes în ceea ce priveşte sonorizarea camerelor de dormit, deoarece în cele mai multe cazuri se găseşte cu uşurinţă locul potrivit pentru amplasarea unui singur difuzor. În cazul încăperilor cu dimensiuni mari, cum ar fi: sălile de restaurant, sălile de şedinţe, barurile şi holurile, soluţiile de sonorizare trebuie alese cu grijă în funcţie de volumul, forma şi de proprietăţile acustice ale încăperilor-pentru a se asigura buna inteligibilitate a vorbei şi, dacă este cazul, chiar redarea cu înaltă fidelitate a programelor muzicale. De asemenea, se impune să se întocmească în mod judicios schema echipamentului electroacustic, astfel încît acesta să facă faţă multiplelor cerinţe ce trebuie să fie rezolvate prin intermediul instalaţiei de sonorizare a hotelului.

Funcţiunile instalaţiei de sonorizare, — aşa cum rezultă din schema aleasă — sînt următoarele:

— captarea sunetului din sala restaurantului,din sala pentru micul dejun, din cramă şi din sala de şedinţe;

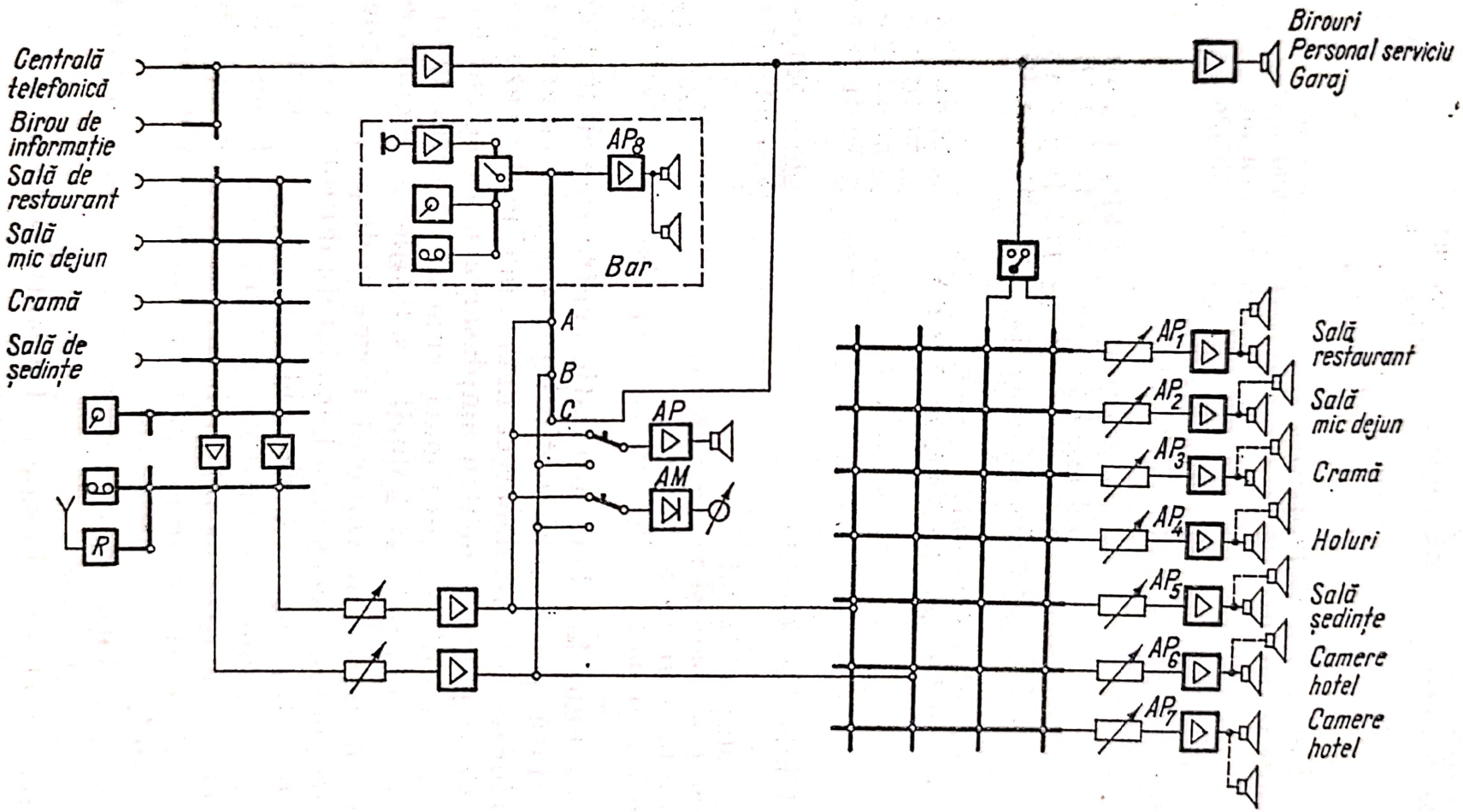


Fig. 4.52. Schema-bloc a instalației de sonorizare a încăperilor unui hotel.

Scanned with OKEN Scanner

— captarea sunetului din sala de bar;
— reproducerea în toate încăperile enumerate mai înainte a sunetului înregistrat pe disc, pe bandă de magnetofon sau a celui produs de un radioreceptor;
— transmiterea unor anunțuri de la centrala telefonică sau de la biroul de informații, fie în încăperile în care lucrează salariații hotelului (birouri, camere pentru personalul de serviciu, garaj etc.), fie în celelalte încăperi (restaurant, holuri, sală de ședințe, camere de dormit);
— amestecul programului sonor captat prin intermediul microfoanelor cu cel reprodus de pe bandă sau disc sau cu cel produs de radioreceptor;
— controlul vizual (instrument de măsură) și auditiv (difuzor) al semnalelor acustice transmise prin echipamentul de sonorizare;
— distribuția programului sonor (prin amplificatoarele de putere $AP_1 - AP_7$ și difuzoarele corespunzătoare) în sălile de restaurant și mic dejun, în holuri, în camere de dormit etc.;
— transmiterea unor anunțuri sau a unor apeluri în birouri, în garaj, în camerele personalului de serviciu etc.

O trăsătură specifică a acestei scheme este că pentru bar s-a prevăzut un echipament aparte, care poate lucra independent. Este necesar totuși să se menționeze, că în cazuri speciale, există posibilitatea racordării instalației electroacustice din bar la instalația principală a hotelului. La această ultimă instalație mai pot fi racordate și circuitele care servesc pentru anunțuri și apeluri (A, B și C).

Sonorizarea unui cinematograf. În tehnica cinematografică actuală se urmărește crearea pentru spectatori a senzației de participare la acțiunea filmului care se desfășoară pe ecran, instalația de sonorizare a unei săli de cinematograf fiind subordonată acestui scop. O astfel de instalație trebuie să asigure buna inteligibilitate și înalta fidelitate a programelor sonore transmise. De asmenea, trebuie să asigure coincidența între axele optice și acustice ale surselor sonore în mișcare. Instalația va permite transmiterea unor programe sonore înaintea începerii spectacolului (muzică în sală și în holuri, anunțuri etc.).

Pentru exemplificare este descrisă o instalație dintr-un cinematograf cu 1 000 locuri, cu posibilități de redare stereofonică.

Schema instalației și amplasarea difuzoarele sînt date în fig.4.53.

Dintre cele patru aparate de proiecție montate în cabina de proiecție, două pot reda numai filme cu sunet înregistrat monofonic, iar

Scanned with OKEN Scanner

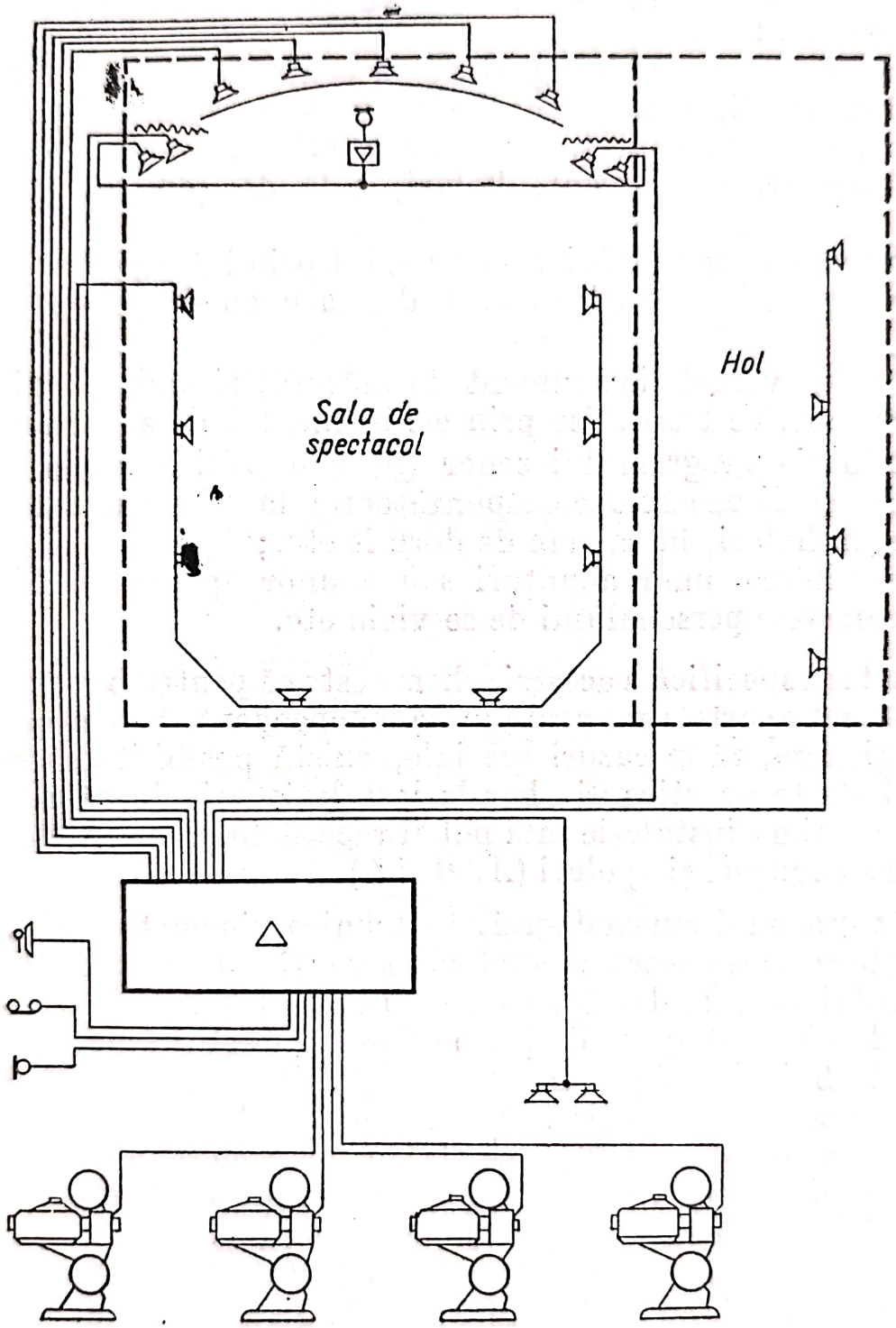


Fig. 4.53. Schema unei instalații de sonorizare a unui cinematograf cu 1 000 locuri.

Scanned with OKEN Scanner

celelalte două pot reda atît filme cinemascop cu sunet înregistrat stereofonic pe 4 canale cît și filme panoramice cu sunet stereofonic pe 6 canale.

Instalația de sonorizare este de tip „Präciton 60" și are 6 canale de amplificare cu putere de 32 W fiecare, permițînd comutarea semnalelor provenite de la aparatele de proiecție și de la sursele auxiliare (gong, magnetofon și microfon). Sunetul înregistrat pe canalele 1, 2, 3, 5 și 6 este reprodus prin intermediul surselor concentrate — cinci grupe alcătuite fiecare din 3 difuzoare de 12,5 W — montate în spatele ecranului la înălțime de aproximativ 6 m și orientate corespunzător.

Pentru a se obține același nivel de intensitate, atît la filmele cu sunet înregistrat fotografic, cît și la filmele stereofonice, semnalele respective sînt redate în paralel prin canalele 1, 2 și 3 (fig. 4.54).

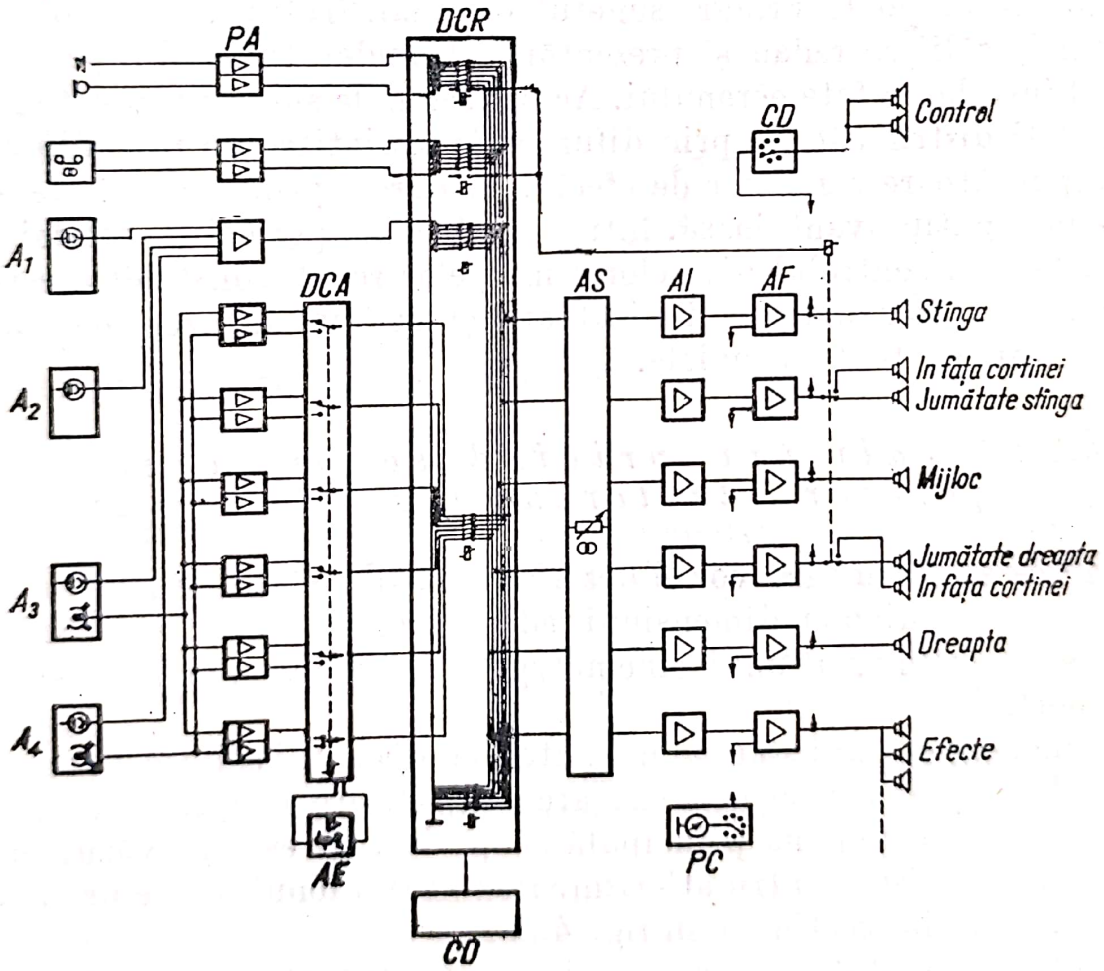


Fig. 4.54. Schema-bloc a instalației de sonorizare:
A_1 — A_4 — aparat de proiecție; *PA* — preamplificator; *DCR* — dispozitiv de comutare a regimului de lucru. *DCA* — dispozitiv de comutare a aparatelor de proiecție; *AE* — amplificator pentru canalul de efecte; *AS* — atenuator stereofonic; *AI* — amplificator intermediar; *AF* — amplificator final; *CD* — comutator difuzor control; *PC* — panou control.

Scanned with OKEN Scanner

Semnalul corespunzător canalului 4 (denumit uneori canalul de efecte) se redă prin surse uniform distribuite — 22 difuzoare montate în plafonul sălii. Acest canal este folosit și pentru crearea ambianței sonore, de exemplu, pentru crearea unei reverberații artificiale.

Semnalele provenite de la magnetofon, de la gong și de la microfonul cabinei, nu pot fi redate prin grupele de difuzoare din spatele ecranului, deoarece, în timpul pauzei, ecranul este acoperit de o perdea grea, fonoabsorbantă. De aceea aceste semnale se redau prin difuzoarele de la marginile ecranului — în fața cortinei — și prin cele din scafele pereților holului.

Pentru traducerea unui film, există un circuit cu cască, prin care traducătorul poate urmări sunetul original. Tot prin difuzoarele din colțurile sălii se redau și prezentările filmelor transmise prin microfonul instalat în fața ecranului. Aceste semnale sînt amplificate separat și pot fi distribuite fie prin difuzoarele amintite, fie prin difuzoarele corespunzătoare canalelor de efecte. Redarea prin canalul de efecte este mai puțin avantajoasă, întrucît intervine pericolul reacției acustice. Pentru controlul nivelelor semnalelor redate, instalația este prevăzută cu instrumente indicatoare și cu un difuzor de control, comutabil pe toate canalele.

4.4.2. *Realizări privind sonorizarea suprafețelor de teren aflate în aer liber*

În cele ce urmează vor fi descrise soluțiile adoptate pentru sonorizarea unui stadion cu dimensiuni reduse, a unui stadion olimpic, a unor teatre în aer liber, a unui cinematograf în aer liber, precum și a unui aeroport.

Sonorizarea unui stadion mic. Stadionul a cărui soluție de sonorizare va fi descrisă în cele ce urmează are o capacitate de aproximativ 25 000 spectatori și o tribună principală acoperită. El este prevăzut, de asemenea, cu o pistă pentru atletism. Planul stadionului este prezentat în fig. 4.55, *a*, iar secțiunea în fig. 4.55,*b*.

Soluția adoptată pentru sonorizarea acestui stadion constă în utilizarea unor surse sonore concentrate. Se folosesc patru coloane cu difuzoare, amplasate în dreptul tribunei principale, orientarea lor fiind astfel făcută,încît să acopere cu sunet întreaga suprafață a stadionului

Scanned with OKEN Scanner

ocupată de public și de sportivi. În fig. 4.55, *a* se pot observa caracteristicile de directivitate ale celor patru coloane C_1—C_4 prin care se asigură în limitele indicate în plan presiuni acustice de 3 μb, corespunzătoare unor nivele de presiune de 83,5 dB. Pentru sonorizarea tribunei principale se utilizează radiația din spate a fiecărei coloane cu difuzoare. S-au luat drept repere pentru orientarea coloanelor C_1 și C_4, drapelele de colț ale stadionului, iar pentru coloanele C_2 și C_3, suporturile drapelelor stadionului.

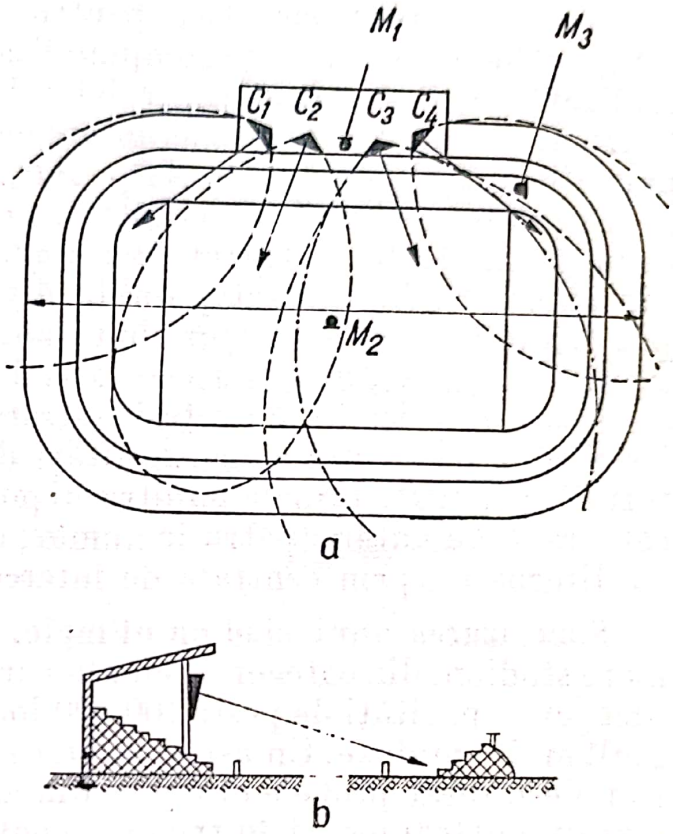


Fig. 4.55. Sonorizarea unui stadion cu dimensiuni reduse:
a — planul stadionului; *b* — secțiune.

— Microfonul M_1 se află la tribună și servește pentru comentarii și pentru partea cea mai mare a anunțurilor.

— Microfonul secundar M_2 se folosește pentru transmiterea salutărilor pe care sportivii le adresează publicului, iar M_3 pentru comunicări spre sau de la pista de atletism.

Este de la sine înțeles că microfonul M_1 este cel mai frecvent utilizat și că din această cauză poziția sa a fost luată în considerare la așezarea difuzoarelor.

Pozițiile microfoanelor M_2 și M_3, care sînt mai puțin folosite, au fost astfel stabilite, încît pericolul reacției acustice să fie pe cît posibil evitat.

Este necesar să se remarce că distanța între microfonul principal M_1 al crainicului stadionului și coloanele cu difuzoare C_1 și C_4 fiind de ordinul a 50 m, se creează un decalaj în timp de aproximativ 150 ms, ceea ce produce o anumită jenă pentru cel ce vorbește la microfon. Remedierea acestui inconvenient este posibilă prin amenajarea unei cabine din care să se facă anunțurile și comentariile.

Scanned with OKEN Scanner

Instalația electroacustică pentru sonorizarea acestui stadion este schițată în fig. 4.56. Ea se compune dintr-o centrală de interconectare, *1*, realizată după principiul centralelor de încrucișare, un pupitru de regie tehnică, o a doua centrală de interconectare *2*, asemănătoare cu prima, amplificatoarele de putere AP_1—AP_4 și coloanele cu difuzoare C_1—C_4.

Prin intermediul primei centrale pot fi conectate la instalație sursele de program. Astfel, cele trei microfoane M_1, M_2 și M_3, linia de program din exterior *LE*, agregatul dublu disclector *DL* și radioreceptorul *R* pot fi distribuite, cîte trei simultan, la intrarea pupitrului de regie tehnică. Acesta din urmă este astfel realizat, încît două intrări sînt conectate pe o ieșire, iar a treia intrare pe cea de-a doua ieșire. Ambele ieșiri sînt prevăzute cu posibilități de control auditiv (*AC* și *DC*) și vizual (*AM* și *I*). Ieșirile pupitrului pot fi conectate la intrările amplificatoarelor de putere (patru la număr, corespunzător celor patru coloane cu difuzoare), prin centrala de interconectare *2*.

Sonorizarea unui stadion olimpic. Bineînțeles că sonorizarea unui mare stadion, din categoria celor în care se desfășoară concursurile olimpice, cu capacități de peste 100 000 locuri, implică soluții de sonorizare mult mai complexe. Un astfel de stadion este cel din Melbourne, pe care s-au desfășurat probele olimpice din anul 1956. Capacitatea stadionului este de 120 000 locuri în tribune, pentru spectatori și de ordinul miilor de locuri pentru sportivi și personal de serviciu.

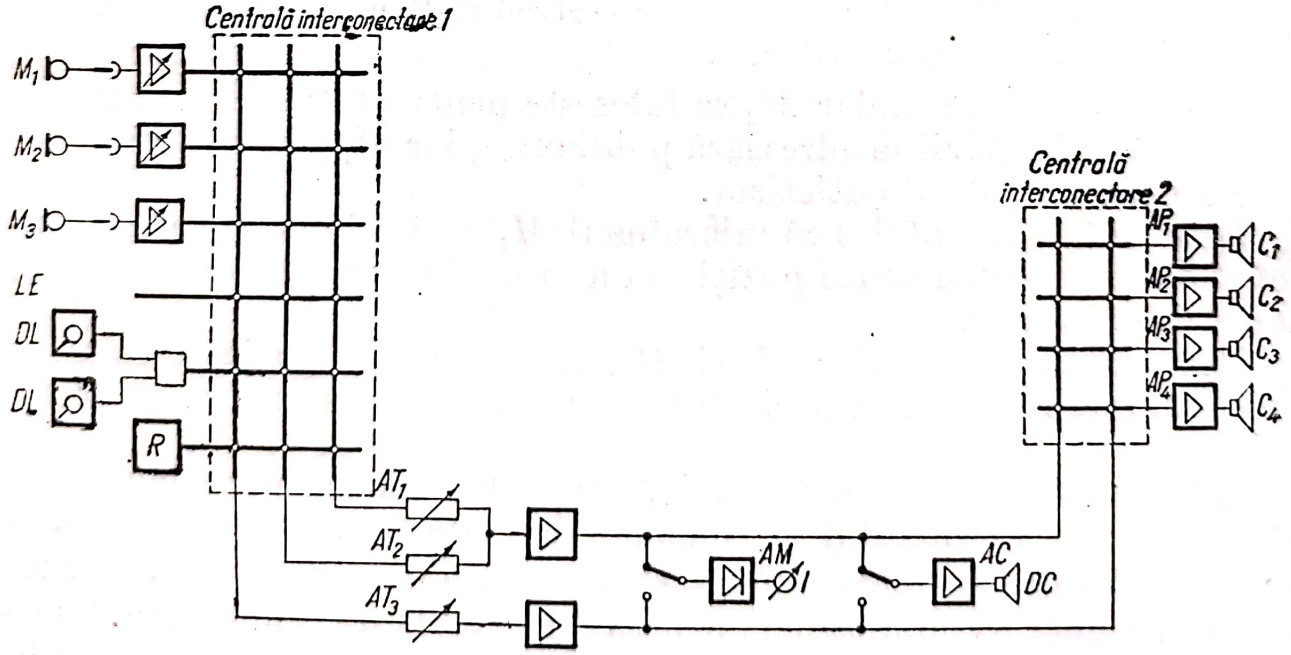


Fig. 4.56. Schema-bloc a instalației electroacustice pentru sonorizarea stadionului de dimensiuni reduse.

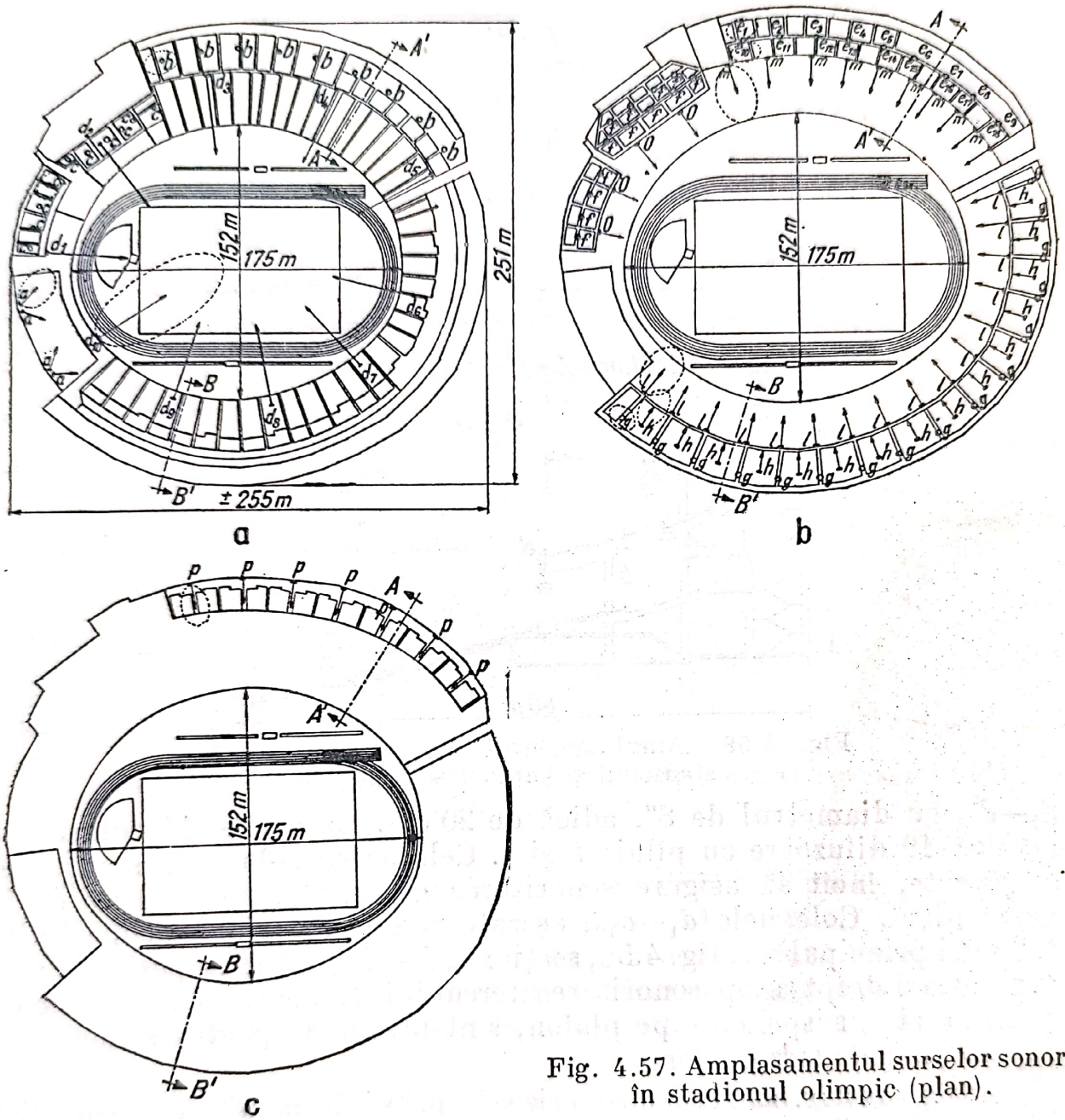


Fig. 4.57. Amplasamentul surselor sonore în stadionul olimpic (plan).

Pentru sonorizarea acestui stadion s-a utilizat procedeul mixt, cu surse concentrate și uniform distribuite. Cele trei nivele ale stadionului *A*, *B* și *C* (fig. 4.57 și 4.58) sînt sonorizate atît prin intermediul coloanelor cît și al difuzoarelor cu pîlnie, uniform distribuite.

Nivelul A (fig. 4.57, *a*) este sonorizat cu 4 surse concentrate, reprezentate de 4 coloane cu difuzoare *a* (difuzoarele au diametrul de 6″, adică 15 cm) și cu încă 10 coloane, în componența cărora intră difuzoarele

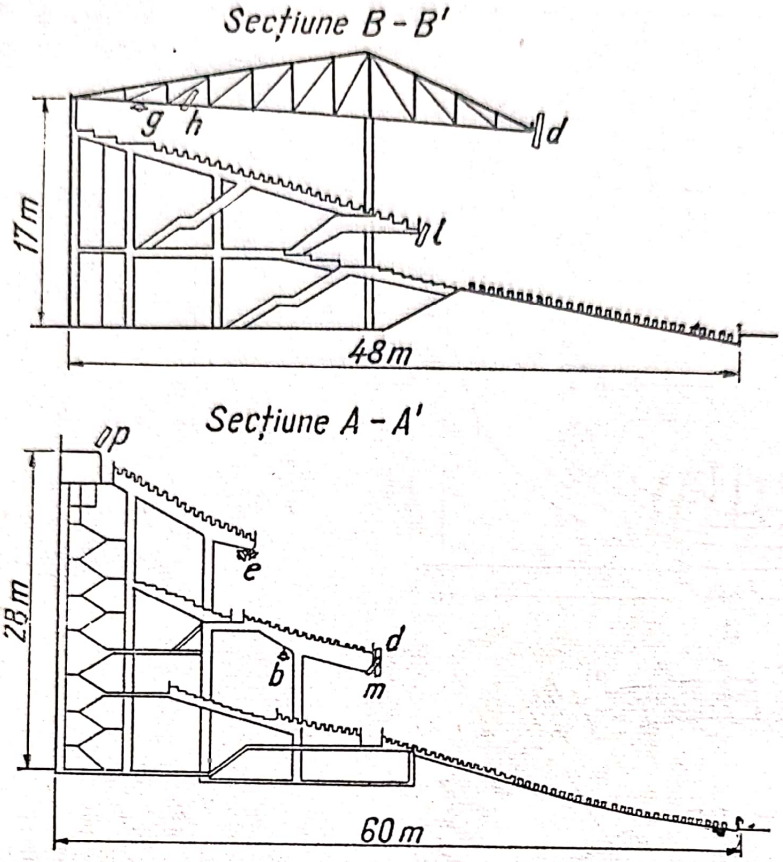


Fig. 4.58. Amplasamentul surselor sonore în stadionul olimpic (secțiune).

d_1—d_{10} cu diametrul de 8", adică de 20 cm. La aceste 14 coloane se adaugă 19 difuzoare cu pîlnie *b* și *c*. Cele patru coloane *a* sînt astfel amplasate, încît să asigure sonorizarea gradenelor neacoperite de la acest nivel. Coloanele d_1—d_{10}, așezate atît la marginea acoperișului tribunei principale (v. fig. 4.58, secțiunea *B*—*B'*) cît și la periferia gradenelor, au drept scop sonorizarea terenului de sport. Difuzoarele cu pîlnie *b* și *c*, suspendate pe plafon, sînt prevăzute pentru sonorizarea suprafețelor de sub gradene.

Nivelul B (fig. 4.57, *b*) se sonorizează prin intermediul următoarelor surse sonore: 30 coloane *l*, alcătuite din difuzoare cu diametrul de 6'', montate la extremitatea plafonului de la primul nivel și servind pentru sonorizarea gradenelor neacoperite și a primelor rînduri de scaune, 15 coloane cu difuzoare *h*, avînd diametrul de 6" necesare pentru sonorizarea locurilor de la nivelul *B*, 29 difuzoare cu pîlnie *f* și *g*, uniform distribuite, suspendate de plafon, deasupra locurilor pentru spectatori. Alte 18 difuzoare cu pîlnie sînt montate două cîte două, așa cum se observă în secțiunea din fig. 4.58 (în plan aceste difuzoare cu pîlnie sînt montate

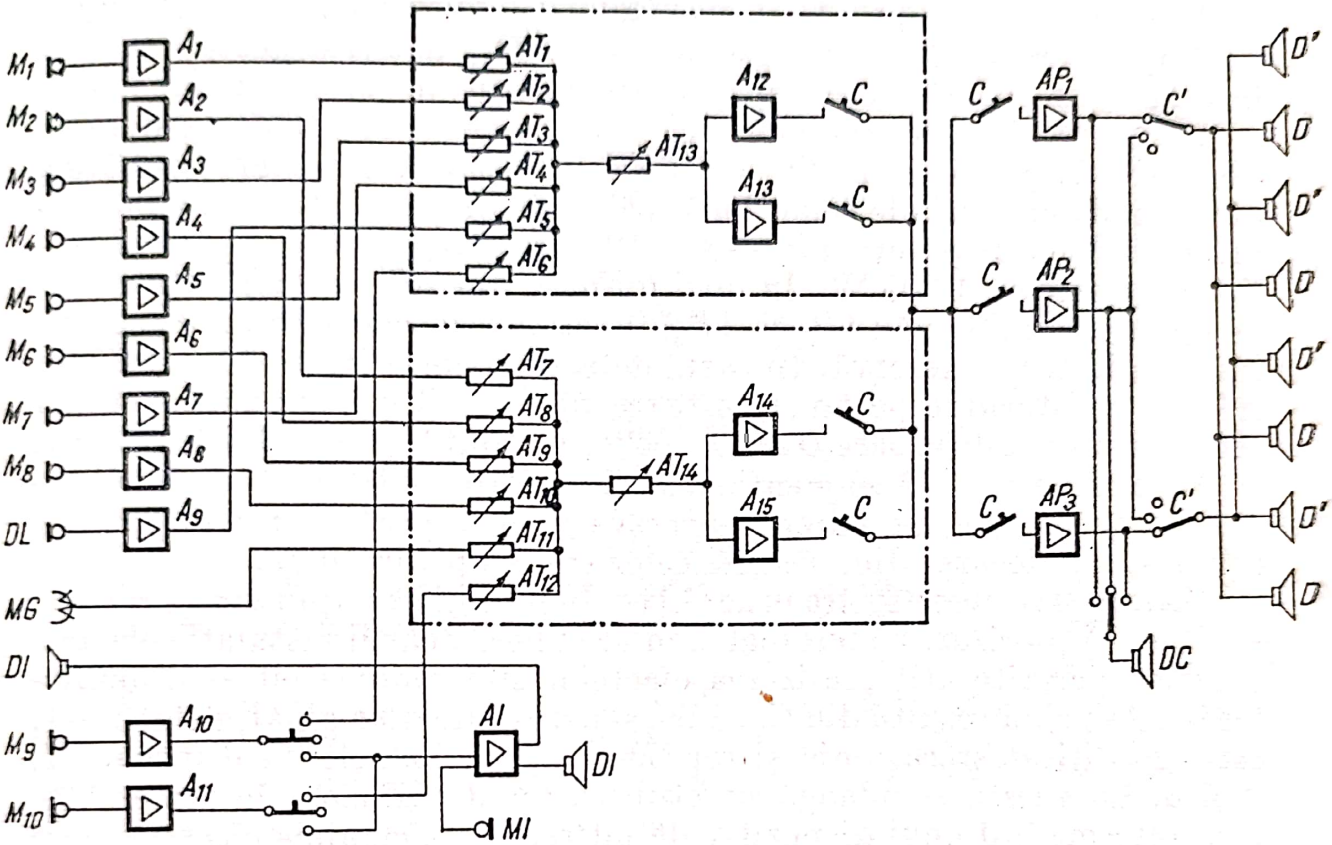


Fig. 4.59. Schema-bloc a instalației electroacustice pentru sonorizarea stadionului olimpic.

două cîte două, așa cum se observă în secțiunea din fig. 4.58 (în plan aceste difuzoare cu pîlnie au fost notate cu litera *e*).

La nivelul *C* (fig. 4.57, *c*) s-au montat 7 coloane cu difuzoare *p*, avînd diametrul de 8″. Ele au drept scop sonorizarea tribunei neacoperite. Schema-bloc simplificată a instalației electroacustice este arătată în fig. 4.59.

După cum se poate observa, ea cuprinde două părți identice, cu scopul de a realiza o rezervă de 100% a echipamentului în funcțiune. Fiecare din cele două părți este prevăzută cu două amplificatoare de ieșire, în așa fel, încît orice întrerupere în funcționarea instalației este exclusă. Prima parte a instalației cuprinde amplificatoarele A_1, A_3, A_5, A_7, A_9, A_{10} și atenuatoarele $AT_1 - AT_6$ și AT_{13}, precum și amplificatoarele A_{12} și A_{13}; cea de-a doua parte are în componența sa amplificatoarele A_2, A_4, A_6, A_8 și A_{11}, atenuatoarele $AT_7 - AT_{12}$ și AT_{14} și amplificatoarele A_{14} și A_{15}.

Instalația mai cuprinde și o unitate de intercomunicație AI. Cele două microfoane aferente acesteia, M_9 și M_{10} pot fi conectate atît la instalația de sonorizare cît și la echipamentul de intercomunicație.

La ieșirea amplificatoarelor A_{12}—A_{15} se găsește montat un sistem de comutare C, prin intermediul căruia este posibilă conectarea fiecăreia din cele două ieșiri ale celor două părți ale instalației la intrările amplificatoarelor de putere AP_1 —AP_3. Puterea nominală a acestor amplificatoare este de 1 000 W. În mod normal, din cele trei amplificatoare de putere numai două (AP_1 și AP_3) funcționează continuu, AP_2 constituind unitatea de rezervă. În cazul defectării amplificatorului AP_1 sau AP_3, comutatorul respectiv, C, este trecut pe poziția mediană, conectînd astfel grupul de difuzoare D sau D' pe ieșirea amplificatorului de rezervă.

Este important să se menționeze că pentru controlul auditiv al fiecărui amplificator de putere s-a prevăzut difuzorul DC, care poate fi comutat pe fiecare din ieșirile celor trei amplificatoare.

Sonorizarea unor teatre în aer liber. În primul exemplu se va prezenta soluția de sonorizare a unui teatru în aer liber, a cărui instalație electroacustică permite atît realizarea efectelor stereofonice cît și a ambiofoniei. Așa cum rezultă din fig. 4.60, sunetul direct original, neîntîrziat, este amplificat stereofonic și reprodus prin coloanele cu difuzoare *1*, *2* și *3*. La acesta se adaugă sunetul produs de difuzoarele alimentate prin intermediul unui dispozitiv de întîrziere. Semnalele electrice care sînt injectate la intrarea acestui dispozitiv se obțin fie prin însumarea semnalelor stereofonice, fie prin captarea sunetului cu microfoane aparte. Întîrzierile sînt astfel calculate, încît să fie respectate prevederile principiului lui Haas. Pentru combaterea nivelului de zgomot ambiant se poate acționa asupra nivelului de presiune acustică creat de

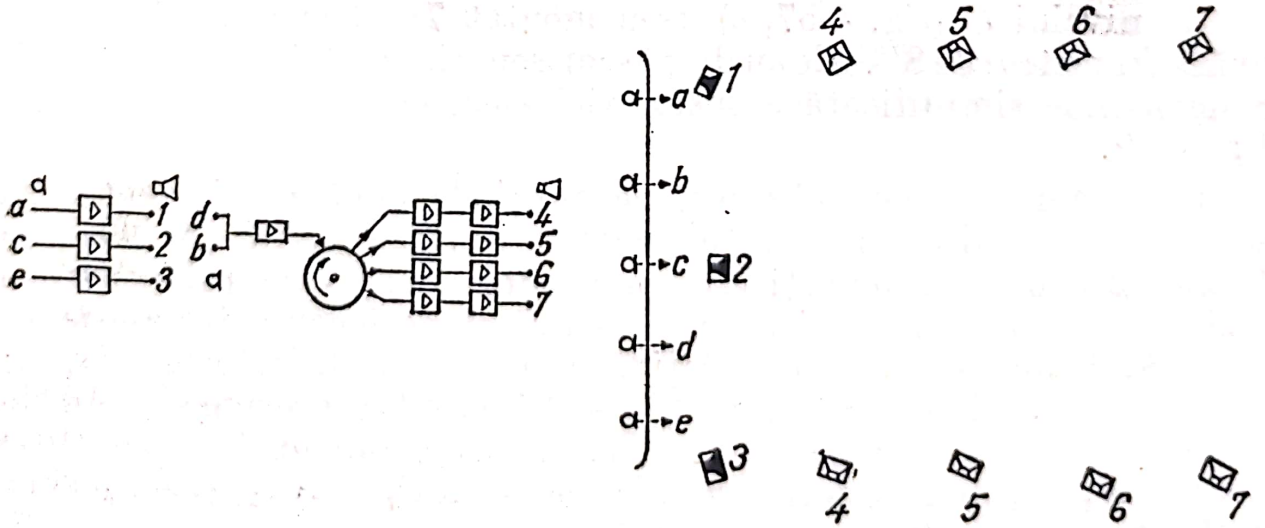


Fig. 4.60. Sonorizarea unui teatru în aer liber folosind instalația de ambiofonie.

aceste coloane, ajustîndu-l la o asemenea valoare, încît programul sonor să fie inteligibil. Este de la sine înțeles că ridicarea nivelului de presiune acustică la valori mari este însoțită de o serie de neajunsuri, care au fost precizate în cadrul acestui capitol și dintre care mai importante sînt reducerea dinamicii și alterarea timbrului surselor sonore.

Cel de-al doilea exemplu se referă la teatrul schițat în fig. 4.61 (plan și secțiune). Acest teatru are o capacitate de aproximativ 15 000 locuri, amplasate pe o suprafață în formă de semicerc. Scena prezintă două părți distincte: podiumul *Sp* și gradenele *Sg*.

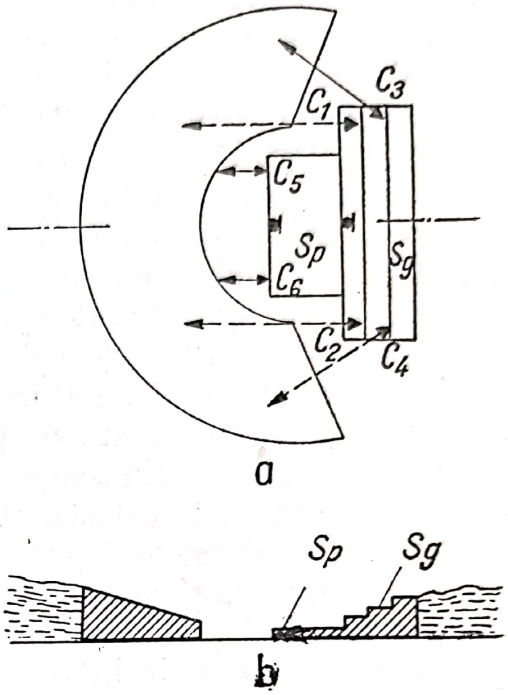


Fig. 4.61. Sonorizarea unui teatru în aer liber:
a — plan; *b* — secțiune.

Sonorizarea spațiului ocupat de public se realizează prin intermediul coloanelor cu difuzoare C_1 și C_2. Fiecare din aceste coloane este dimensionată pentru puterea electrică de 50 W. Ambele coloane sînt amplasate pe prima gradenă și orientate astfel, încît axele lor să fie paralele cu axa de simetrie a construcției.

În cazul manifestărilor artistice al căror program sonor poate fi captat numai cu microfoanele indicate pe schiță — cum ar fi, de exemplu, un concert cu solist și formație orchestrală mică — coloanele C_1 și C_2 sînt suficiente pentru a asigura o sonorizare de calitate satisfăcătoare. Dacă însă pe podium se desfășoară un spectacol de teatru a cărui captare sonoră implică necesitatea utilizării unui număr mai mare de microfoane repartizate pe toată suprafața scenei, poate interveni pericolul reacției acustice, înainte ca nivelul de intensitate acustică să fi ajuns la o valoare convenabilă. Soluția de îmbunătățire a acestei situații constă în adăugarea a încă două coloane — C_3 și C_4 — cu care se pot acoperi cu sunet util și locurile aflate la extremitățile tribunei. Eventual, se mai pot introduce în instalație și coloanele C_5 și C_6, așezate în fața scenei și avînd ca principal scop reproducerea cu precădere a frecvențelor înalte. Este important să se menționeze că amplasarea acestor ultime coloane cu difuzoare trebuie făcută cu deosebită grijă,

pentru a se evita apariția reacției acustice, ca urmare a acțiunii reflexiilor sonore concentrate (focare sonore), care pot apărea datorită formei concave a părții centrale a tribunei.

Instalația electroacustică folosită pentru sonorizarea unui astfel de teatru (fig. 4.62) este una dintre cele mai simple. În componența ei intră o centrală de interconectare *I*, la care pot fi conectate sursele de program: microfoanele (amplasate în stînga, în dreapta, în fața și spatele scenei), disclectoarele *DL* și magnetofoanele *Mg*. Liniile de ieșire ale centralei sînt legate la intrarea pupitrului de mixaj. La ieșirile acestuia sînt branșate amplificatoarele de putere *A* (prin intermediul centralei de interconectare *II*). Difuzoarele, respectiv prizele pentru conectarea acestora, sînt amplasate pe podium și gradene. În afară de circuitele pentru difuzoarele din scenă, la centrala de interconectare *II* mai sînt conectate și circuitele destinate sonorizării diferitelor încăperi din incinta teatrului în care se află personalul artistic și tehnic (linia „ascultare în clădire"), precum și cele care asigură legătura cu anumite zone din spațiul ocupat de public, în care se află spectatorii cu auzul slab și care ascultă programul sonor prin intermediul căștilor. Mai este necesar să se menționeze că ieșirile pupitrului pot fi controlate auditiv (*AC*) și vizual (*AM*).

Pentru realizarea unor efecte sonore speciale instalația mai este prevăzută cu două filtre — corectoare de frecvență C_1 și C_2, care pot fi introduse în oricare din cele 5 canale ale pupitrului de mixaj.

Sonorizarea unui aeroport. Este foarte greu de conceput în prezent un aeroport modern, destinat traficului aerian civil, care să nu fie prevăzut cu o instalație electroacustică pentru sonorizare. La o asemenea instalație stabilirea schemei de principiu și a principalilor săi parametri tehnici se face în funcție de mai mulți factori, ca, de exemplu: întinderea spațială a construcțiilor din incinta aeroportului (clădirea aerogării, a hangarelor, a depozitelor etc.), mărimea pistelor de decolare și de aterizare, necesitatea transmiterii unor anunțuri și comunicări în toate spațiile destinate călătorilor, însoțitorilor și vizitatorilor, necesitatea transmiterii unor comentarii și anunțuri pentru personalul aeroportului care contribuie la desfășurarea în bune condiții a traficului de călători, necesitatea transmiterii unor comentarii și anunțuri pentru cazul în care aeroportul este utilizat pentru manifestări sportive aeriene.

La alcătuirea proiectului instalației se pleacă de la premiza că în fiecare aeroport se găsește o încăpere, special amenajată și amplasată, de obicei, în centrul de greutate al construcțiilor din care se fac anunțurile și comunicările. Aceste anunțuri se transmit pentru călătorii aflați atît în sălile de așteptare cît și în cele în care se îndeplinesc forma-

Scanned with OKEN Scanner

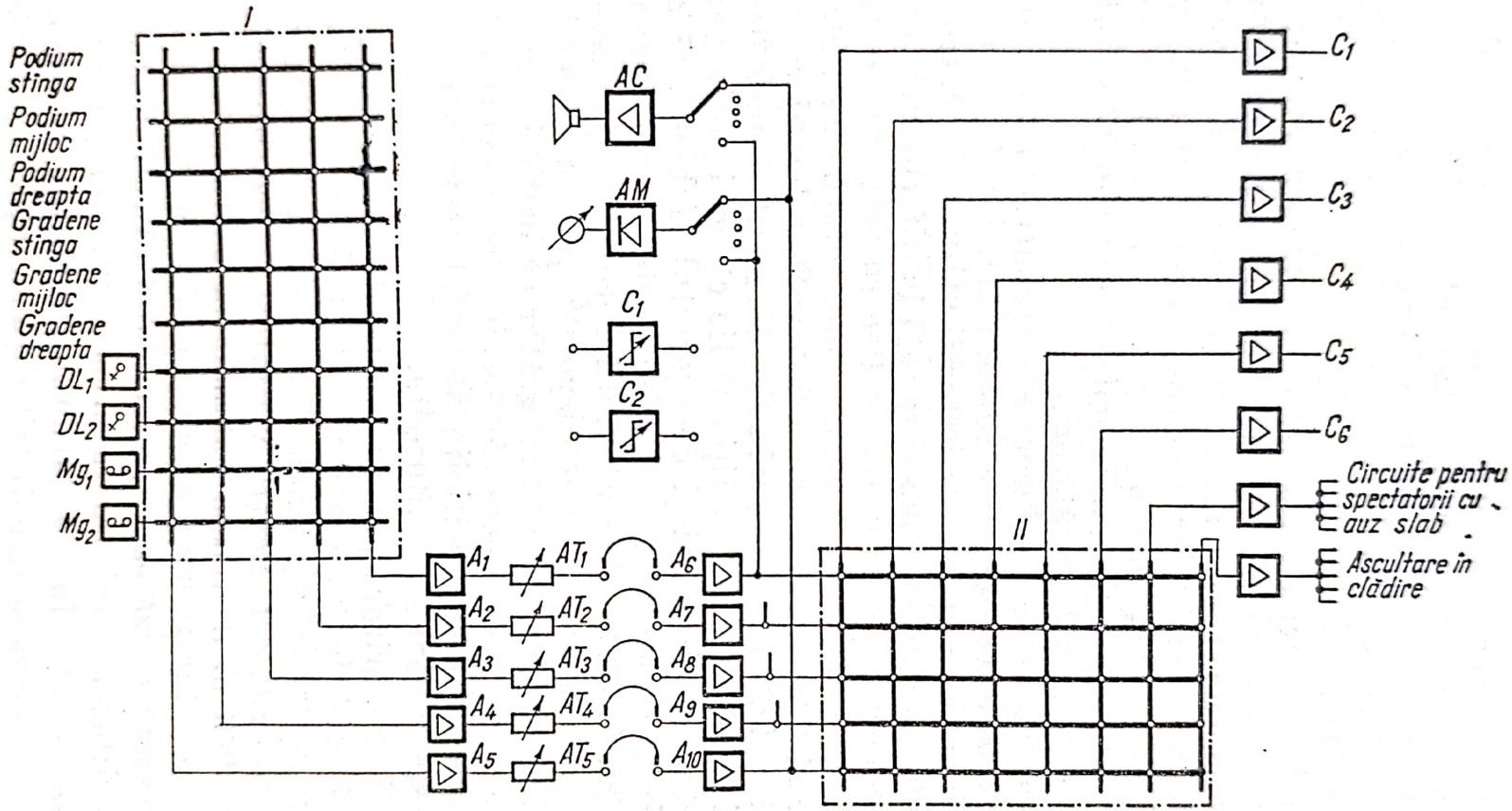


Fig. 4.62. Schema-bloc a instalației electroacustice pentru sonorizarea teatrului în aer liber.

litățile pentru călătorie (săli de tranzit, de vamă, control, pașapoarte, grupare a călătorilor), în sălile de restaurant, în sălile de bar, în spațiile comerciale etc. De asemenea, s-a dovedit necesar ca în cazul aeroporturilor să se sonorizeze și alte spații, cum ar fi încăperile pentru spălător și cele pentru WC.

Proiectul instalației electroacustice de sonorizare se întocmește și în funcție de specificul traficului de călători din aeroport. Astfel se ține seamă că în asemenea condiții călătorii trebuie să iasă pe pistă numai cu puțin timp înainte de decolarea avionului, iar urcarea în avion trebuie să se facă, de asemenea, într-un timp relativ scurt. Din această cauză este necesar ca apelurile și comunicările să se transmită simultan în toate încăperile în care se găsesc călători.

Pentru personalul de conducere al aeroportului va fi prevăzută, de asemenea, posibilitatea de a face comunicări.

În cazul în care aeroportul ar putea fi utilizat și pentru manifestări sportive aeriene este necesar să se prevadă în diferite puncte de pe pistă prize pentru conectarea microfoanelor. Pentru sonorizarea spațiului ocupat de spectatori se recomandă găsirea unor soluții de amplasare a difuzoarelor care să satisfacă anumite cerințe: să nu deranjeze zborul avioanelor la foarte mică înălțime, deci să nu fie montate pe stîlpi, să nu necesite puteri acustice mari, audiția să fie cît mai puțin perturbată de acțiunea factorilor climatici și de zgomotul ambiant. O soluție care poate fi utilizată și care dă bune rezultate este cea cu difuzoarele amplasate în sol (fig. 4.63). Se observă că difuzorul, care este montat într-un tub de beton, este prevăzut cu un dispozitiv pentru dispersia sunetelor. Deasupra difuzorului se găsește un grătar cu orificii înguste prin care se transmite sunetul și care poate forma, dacă este cazul, o lentilă acustică. Dimensiunile acestor orificii sînt astfel alese încît nu împiedică circulația peste tuburile cu difuzoare.

Soluțiile de sonorizare pentru încăperile aeroportului vor fi alese astfel, încît să se obțină procente de articulație cît mai ridicate, dacă se poate de ordinul 80—85%. Unele din aceste încăperi au volume mari (holurile de tranzit, cele pentru vizitatori — însoțitori ajungînd pînă la 10 000—15 000 m³). Aceste volume, cu toate măsurile de tratare acustică, implică durate mari de reverberație, în special la frecvențele joase. Din această cauză este recomandabil să se utilizeze varianta de sonorizare cu difuzoare uniform repartizate (v. exemplul privind sonorizarea unui restaurant). În instalațiile moderne, pentru sonorizarea aeroporturilor se utilizează pentru distribuirea anunțurilor în diferite limbi, casete cu bandă de magnetofon în circuit închis, pe care sînt înregis-

Scanned with OKEN Scanner

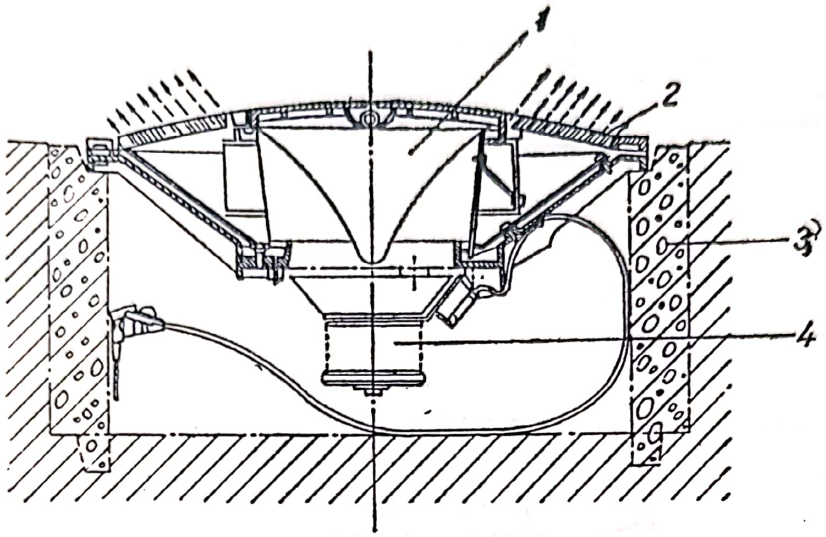


Fig. 4.63. Soluție de montare a difuzoarelor într-un aeroport:
1 — reflector pentru sunet; *2* — panou metalic perforat; *3* — tub beton; *4* — difuzor.

trate aceste anunțuri. Casetele sînt introduse în magnetofoane de construcție specială, acționarea lor putînd fi făcută de o persoană fără o calificare specială.

Schema unei instalații de sonorizare a unui aeroport este prezentată în fig. 4.64. Aci sînt figurate atît magnetofoanele cu casete cu bandă în circuit închis Mg_1 și Mg_2, cît și microfoanele care servesc la transmiterea unor apeluri M_1 și M_2. Magnetofoanele și microfoanele sînt conectate la o centrală de distribuție I. Se observă că în mod normal contactele de releu r_1 și r_2 sînt așezate pe poziția „magnetofon". Cînd se fac anunțuri prin microfon se acționează releele R, contactele acestora comutîndu-se pe poziția „microfon". Cele două circuite corespunzătoare contactelor de releu r_1 și r_2 ajung la centrala de distribuție II, prin intermediul căreia se trimit semnalele electrice la amplificatoarele de putere AP. Difuzoarele conectate la ieșirile acestora sînt amplasate în holuri, săli de tranzit, săli de vamă, restaurante, baruri, spații comerciale etc. Este de menționat faptul că instalația din fig. 4.64 este prevăzută cu dispozitive de control al fiecărei surse de program (magnetofon și microfon) I_1 — și DC_1 — precum și a ieșirilor fiecărui amplificator de putere — I_2 și DC_2.

Sonorizarea unui cinematograf în aer liber. La sonorizarea unui cinematograf situat în aer liber intervin o serie de probleme specifice.

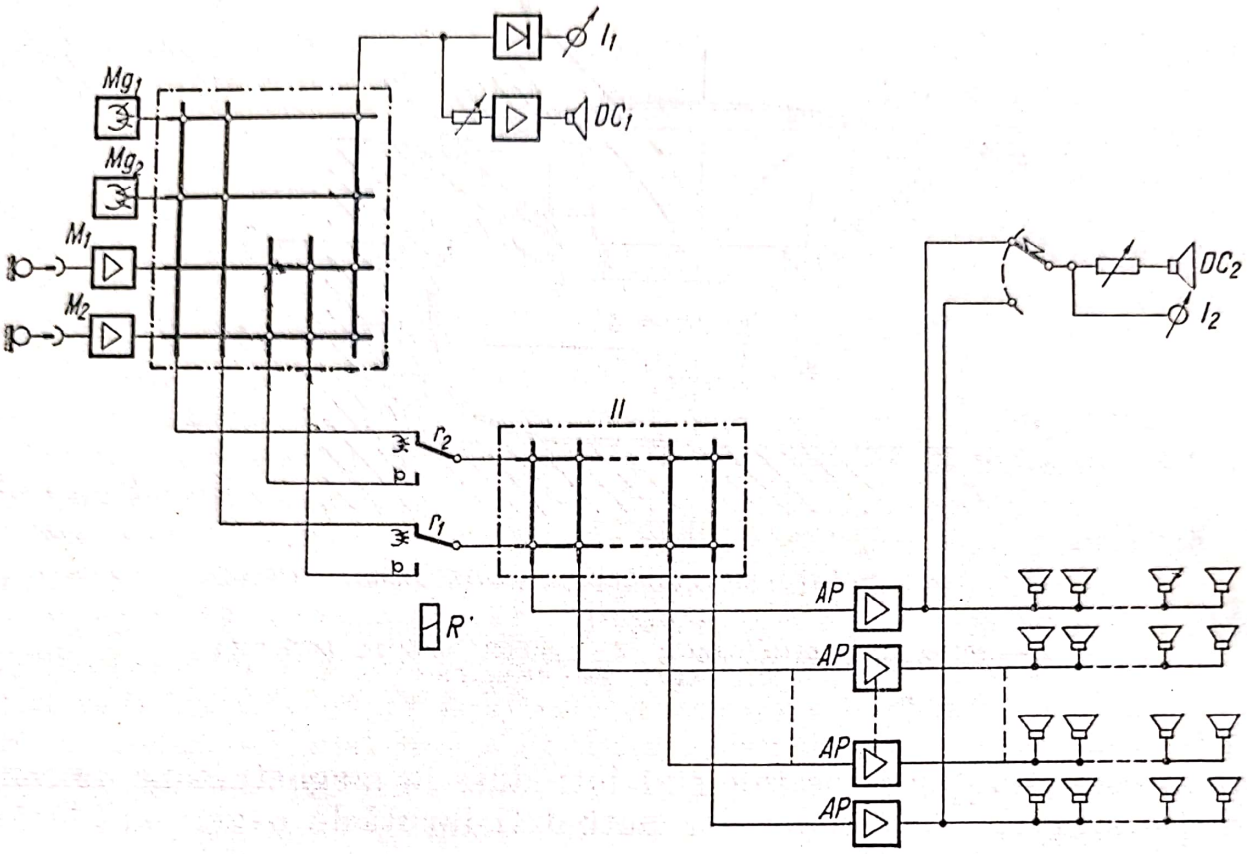


Fig. 4.64. Schema-bloc a unei instalații electroacustice pentru sonorizarea unui aeroport.

Astfel, ecranul unui cinematograf în aer liber trebuind să fie rezistent la intemperii, se construiește din beton și din această cauză așezarea surselor sonore în spatele său nu mai este posibilă. Ca urmare, apar și inconveniente în ceea ce privește păstrarea aceleiași direcții pentru sunet și imagine. În plus, din cauza distanței mai mari pînă la ultimul rînd de spectatori, se produce o decalare în timp a sunetului față de imagine. Într-un astfel de cinematograf și nivelul de zgomot perturbator are o valoare ridicată.

Una din instalațiile de sonorizare la care s-au rezolvat o parte din problemele menționate mai înainte este și cea prezentată în fig.4.65.

Așezarea celor două grupe de difuzoare s-a făcut deasupra ecranului, cunoscut fiind faptul că posibilitățile de localizare a sunetului în plan vertical sînt mai mici decît în plan orizontal. Deci, recepționarea sunetului de la surse sonore așezate deasupra capului nu ar deranja pe spectatori. Amplasarea difuzoarelor în dreapta și în stînga ecranului (în special în cazul ecranelor cinemascop late de 15—20 m) ar fi făcut

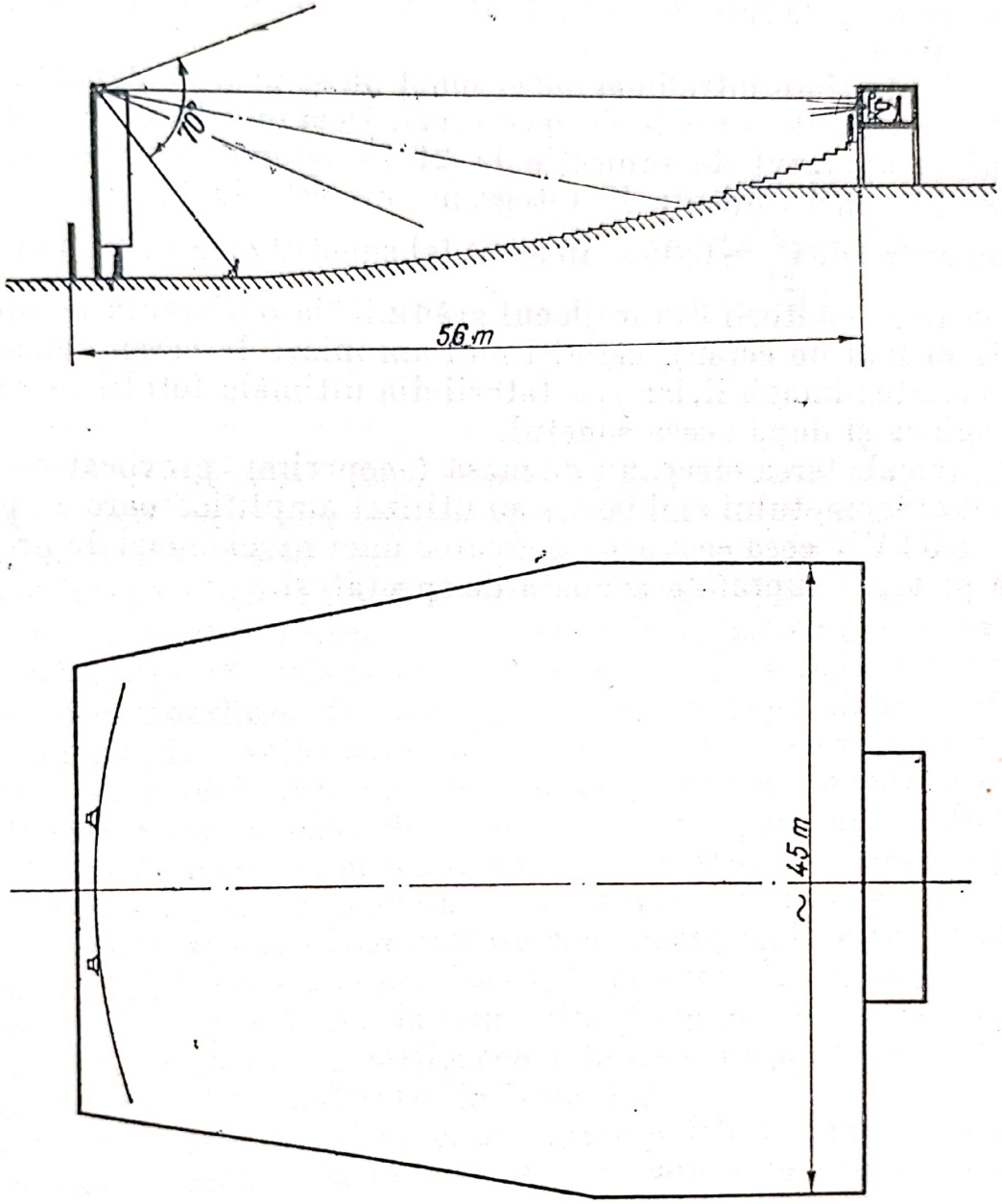


Fig. 4.65. Schema instalației de sonorizare a unei grădini cinematografice.

imposibilă respectarea condiției de coincidență între direcțiile sunetului și ale imaginii. Aranjarea difuzoarelor sub ecran ar fi condus la rezolvarea condiției de coincidență între direcții, dar ar fi provocat nivele de presiune acustică excesiv de mari pentru spectatorii din primele rînduri de fotolii (cu 25—30 dB mai mari față de presiunea corespunzătoare

Scanned with OKEN Scanner

ultimelor rînduri de fotolii). Amplasarea astfel realizată este deci cea mai avantajoasă.

Decalajul în timp între imagine și sunet nu se poate îndepărta total pentru toate locurile ocupate de spectatori. Decalînd locul de redare a sunetului în aparatul de proiecție la 21 fotograme înaintea locului proiecției imaginii (față de 19 fotograme cît este la înregistrare), se obține un avans de $\frac{2}{24} \simeq 0{,}08$ s. În acest fel sunetul este sincron cu imaginea pentru spectatorii din mijlocul grădinii (la o distanță de aproximativ 27 m față de ecran), ceilalți mai apropiați de ecran, auzindu-l decalat înaintea imaginii, iar spectatorii din ultimele fotolii percepînd întîi imaginea și după aceea sunetul.

Pentru combaterea efectului de masă (acoperire), provocat de nivelul ridicat al zgomotului ambiant, s-au utilizat amplificatoare cu putere mare (2×32 W), ceea ce a permis crearea unor nivele mari de presiune acustică pe toată suprafața ocupată de spectatori.

Capitolul 5

Efecte sonore produse pe cale electroacustică

Instalațiile electroacustice trebuie să asigure realizarea unor reproduceri cît mai naturale. O reproducere sonoră este cu atît mai bună, cu cît ascultătorul sesizează mai greu diferențe calitative (artistice și tehnice) între audiția directă a sursei sonore și cea obținută prin transmisia electroacustică a programului sonor. Necesitatea realizării acestui deziderat a dus la elaborarea unor tehnici noi de redare a sunetului, precum și la stabilirea metodelor și mijloacelor capabile să producă noi efecte sonore. Dintre acestea pot fi citate tehnica stereofonică privind înregistrarea și reproducerea sunetului și procedeul de realizare a sunetului înconjurator, denumit de multe ori și „sunet panoramic". În momentul de față este greu de conceput o sală de teatru, de cinematograf sau de audiții muzicale căreia să nu i se fi prevăzut în proiect una din cele două categorii de instalații arătate sau, acolo unde este cazul, chiar amîndouă. În plus se poate preciza că, în prezent, din ce în ce mai multe persoane doresc să audieze la domiciliu programe muzicale reproduse după tehnica stereofonică, mijloacele tehnice corespunzătoare, destinate amatorilor, crescînd cantitativ în fiecare an.

În acest capitol vor fi precizate principalele noțiuni referitoare la tehnica stereofonică și la procedeul de creare a sunetului panoramic.

5.1. Stereofonia

Printr-o definiție generală se poate preciza că stereofonia reprezintă acel mod de reproducere a sunetului prin care se păstrează aceleași posibilități auditive de localizare a sursei sonore aparente ca și în cazul ascultării directe a sursei reale.

Stereofonia ca ramură nouă a electroacusticii s-a dezvoltat în special în ultimele două decenii, deși începuturile sale, — primele experi-

Scanned with OKEN Scanner

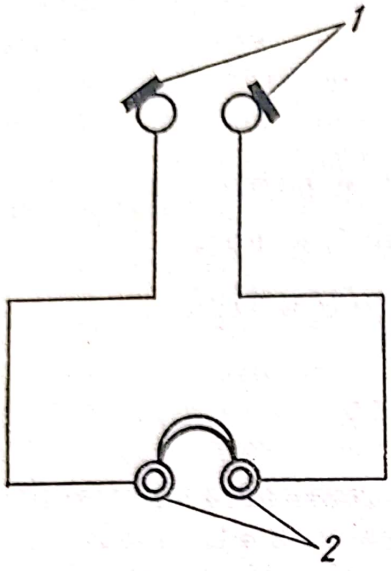


Fig. 5.1. Cel mai simplu sistem de transmisiune stereofonică:
1 — microfoane; *2* — căşti telefonice.

mentări — au avut loc acum un secol. Astfel, prima transmisiune stereofonică a fost realizată în anul 1881 cu ocazia Expoziţiei Internaţionale de Electricitate. Atunci s-au făcut retransmisii de pe scena Operei din Paris, utilizîndu-se un echipament electroacustic simplu, de tipul celui din fig. 5.1, care comporta două microfoane apropiate unul de altul şi două căşti prin intermediul cărora se făcea audiţia.

Aşa cum s-a mai arătat, de la prima transmisie stereofonică şi pînă astăzi, dar mai ales în ultimii 15—20 ani, stereofonia a luat o mare dezvoltare, prin stabilirea unor procedee ştiinţifice de înregistrare şi reproducere stereofonică, prin elaborarea unor metode corespunzătoare de radiodifuzare stereofonică a programelor muzicale şi a celor vorbite. S-au precizat, de asemenea, şi procedeele prin care se obţine aşa-numita „pseudostereofonie", prefixul „pseudo" arătînd că efectul stereofonic se realizează plecînd de la sistemele de captare, înregistrare şi reproducere monofonice.

5.1.1. *Termeni utilizaţi în tehnica stereofonică*

Înţelegerea fenomenelor care apar în procesul transmisiunilor stereofonice este condiţionată de cunoaşterea noţiunilor şi termenilor specifici acestei tehnici. În acest scop s-au precizat, în cele ce urmează, definiţiile celor mai importanţi şi mai frecvent utilizaţi termeni din tehnica stereofoniei.

Stereofonie de intensitate. Procedeu de înregistrare stereofonică, la care informaţia privind direcţia din care se percepe sursa sonoră aparentă rezultă din diferenţa nivelelor de intensitate acustică a semnalelor stereofonice transmise.

Stereofonie de fază. Procedeu de înregistrare stereofonică, la care informaţia privind direcţia din care se percepe sursa sonoră aparentă rezultă din diferenţa de timp de sosire (corespunzătoare diferenţei de parcurs între sursă şi urechile ascultătorului) a undelor acustice.

Scanned with OKEN Scanner

Semnale stereofonice. Semnale constituite dintr-o informaţie stereofonică: de exemplu, A sau B, X sau Y, M sau S, semnal stînga *(L)* sau dreapta *(R)*, fiecare din ele fiind transmis prin intermediul unui canal stereofonic.

Canal stereofonic. Lanţ electroacustic de transmisie corespunzător unui singur semnal stereofonic. Canalele stereofonice se clasifică după cum urmează:

— în sistemul simetric: (caracteristicile de directivitate ale microfonului de coincidenţă sînt identice)
  — canal stereofonic numărul 1: semnal A; semnal X;
  — canal stereofonic numărul 2: semnal B; semnal Y;
— în sistemul asimetric: (caracteristicile de directivitate ale microfonului de coincidenţă sînt, în general, diferite)
  — canal stereofonic numărul 1: semnal M;
  — canal stereofonic numărul 2: semnal S.

Semnal A. Semnalul dintr-unul din cele două canale ale unui sistem de transmisiune stereofonic, care conţine informaţia corespunzătoare difuzorului din stînga ascultătorului.

Semnal B. Semnalul dintr-unul din cele două canale ale unui sistem de transmisiune stereofonic, care conţine informaţia corespunzătoare difuzorului din dreapta ascultătorului.

Semnal M (semnal sumă). Semnalul care corespunde unuia din cele două canale electroacustice ale unui sistem de transmisiune stereofonic şi care se poate obţine prin însumarea semnalelor stereofonice X şi Y.

Semnal S (semnal diferenţă). Semnal care corespunde unuia din cele două canale electroacustice ale unui sistem de transmisiune stereofonic şi care se poate obţine prin diferenţa semnalelor stereofonice X şi Y.

Semnal X. Semnal obţinut în cazul stereofoniei de intensitate — cu două canale —, care rezultă din însumarea semnalelor M şi S şi care este transmis de difuzorul situat în stînga ascultătorului.

Semnal Y. Semnal obţinut în cazul stereofoniei de intensitate — cu două canale —, care rezultă din diferenţa semnalelor M şi S şi care este transmis de difuzorul situat în dreapta ascultătorului.

Microfon de coincidenţă. Microfon stereofonic utilizat în cazul stereofoniei de intensitate, care cuprinde două traductoare electroacustice situate adiacent, în aceeaşi unitate constructivă.

Transformare sumă-diferenţă. Operaţiile de însumare şi de scădere a două semnale stereofonice.

Scanned with OKEN Scanner

S-a stabilit următoarea corespondență:

$A + B$ (respectiv $X + Y$) $= pM$ (semnalul sumă)

$A - B$ (respectiv $X - Y$) $= pS$ (semnalul diferență)

$M + S = qA$ (respectiv qX)

$M - S = qB$ (respectiv qY)

p și q fiind factori de proporționalitate.

Monoaural. Perceperea sunetului cu o singură ureche.

Monofonic. Sistem de înregistrare, de transmisiune și de reproducere a unei producții sonore, necesitînd instalații electroacustice cu un singur canal.

Binaural. Perceperea sunetului cu ambele urechi.

Stereofonic. Sistem de înregistrare, de transmisiune și de reproducere a unei producții sonore, necesitînd instalații electroacustice cu două sau cu mai multe canale.

Sursă sonoră aparentă. Imaginea unei surse sonore în timpul reproducerii ei electroacustice.

Bază. Linia dreaptă trasată între difuzoarele extreme, utilizate într-un sistem de reproducere stereofonic.

Mărimea bazei. Distanța între două microfoane amplasate la o distanță oarecare unul față de celălalt și utilizate în stereofonia de fază (la înregistrare) sau distanța între difuzoarele extreme la reproducere.

Localizarea centrului. Proprietatea auzului de a localiza un fenomen sonor retransmis stereofonic, ca o sursă sonoră aparentă, amplasată într-un punct situat pe mijlocul bazei, cu condiția ca semnalele stereofonice să fie identice ca fază și ca amplitudine.

Suprafața utilă pentru audiția stereofonică. Suprafața situată de ambele părți ale planului perpendicular pe mijlocul bazei, în cuprinsul căreia este posibilă o bună localizare a centrului.

Informație direcțională. Informația obținută de un ascultător asupra direcției în care se găsesc una sau mai multe surse din încăpere. În cazul transmisiunii stereofonice, determinarea direcției se face pe baza diferențelor dintre nivelele de intensitate sonoră ale undelor acustice ce ajung la urechile ascultătorului, precum și pe baza diferențelor dintre momentele lor de sosire.

Compatibilitate. Un sistem stereofonic este compatibil cînd permite obținerea prin intermediul său a unui semnal monofonic corespunzător din punctul de vedere al calității tehnice și artistice.

Scanned with OKEN Scanner

Pseudostereofonie. Procedeul de obținere a unor efecte stereofonice pornind de la semnale monofonice.

5.1.2. *Teoriile auzului binaural*

Pentru înțelegerea fenomenelor care apar în cazul unor reproduceri stereofonice, este necesară cunoașterea mecanismului audiției binaurale.

Se știe că undele acustice emise de o aceeași sursă sonoră nu sînt identice cînd ajung la urechile unui ascultător. În principiu, cînd sursa sonoră se găsește în afara planului de simetrie al capului, urechea care se află într-o direcție opusă acestei surse va recepționa o presiune acustică cu nivel mai mic decît cealaltă ureche. Acest fenomen este datorit efectului de ecran pe care-l introduce capul ascultătorului.

Dacă semnalul sonor emis de sursă este un sunet pur, sinusoidal, se produce și un defazaj ca urmare a diferenței de parcurs dintre sursă și cele două urechi. În cazul acestor sunete, ca și în cazul unor semnale complexe, cum ar fi cele corespunzătoare muzicii, vorbei și zgomotelor, diferențele de parcurs generează și diferențe de timp. Mărimile și sensurile acestor diferențe de timp depind de direcțiile în care se pot găsi sursele față de ascultător.

Este important să se menționeze că modificarea direcției unei surse sonore antrenează modificări simultane ale unui număr mare de mărimi ce intervin în procesul audiției binaurale. Aceste mărimi, modificabile ca valoare, au stat la baza elaborării teoriilor privind auzul binaural. Dintre aceste teorii se amintesc teoria raporturilor de intensitate acustică, a diferențelor de timbru, a diferențelor de fază și a diferențelor de timp.

Teoria raporturilor de intensitate. Această teorie, care—de cele mai multe ori—mai este denumită și teoria „diferențelor de intensitate", a fost una dintre primele teorii prin intermediul cărora s-a căutat să se explice procesul de localizare prin auz a unei surse sonore aparente. După cum s-a mai arătat, cînd sursa sonoră nu se găsește în planul de simetrie al capului, nivelele de presiune acustică, care se stabilesc în dreptul urechilor, nu sînt egale. Diferențele de nivel cresc pe măsură ce sursa sonoră se îndepărtează de acest plan. La prima vedere, s-ar părea că teoria potrivit căreia aceste diferențe o dată percepute permit determinarea direcției în care se află sursa sonoră, este perfect valabilă. Acest lucru ar fi adevărat dacă diferențele de nivel de intensitate acustică ar depinde numai de direcția în care se află sursa sonoră. Dar ele mai depind și de natura sunetului. Faptul apare și mai evident dacă nu

se consideră un sunet complex, ci unul pur, corespunzător unui semnal sinusoidal. La această categorie de sunete, pe măsură ce frecvența scade, diferențele de intensitate devin imperceptibile. Din contra, la frecvențe audio înalte, aceste diferențe sînt mari, ușor sesizabile. Așadar, la aceeași poziție a sursei sonore, dacă se emit sunete de frecvență joasă, direcția sursei sonore nu mai poate fi determinată. În cazul emiterii unor sunete de frecvență înaltă, această direcție este mai ușor de determinat. Bineînțeles că nu poate fi precizată cu exactitate frecvența limită la care diferențele de intensitate constituie într-adevăr un mijloc de localizare prin auz a surselor sonore. Totuși, ca o cifră informativă, poate fi considerată frecvența de 1 000 Hz. Ca o ilustrare a celor arătate, în fig. 5.2 sînt prezentate rezultatele unor măsurări executate de Sivian și White. Aceștia au obținut diferențe de intensitate utilizînd o sursă so-

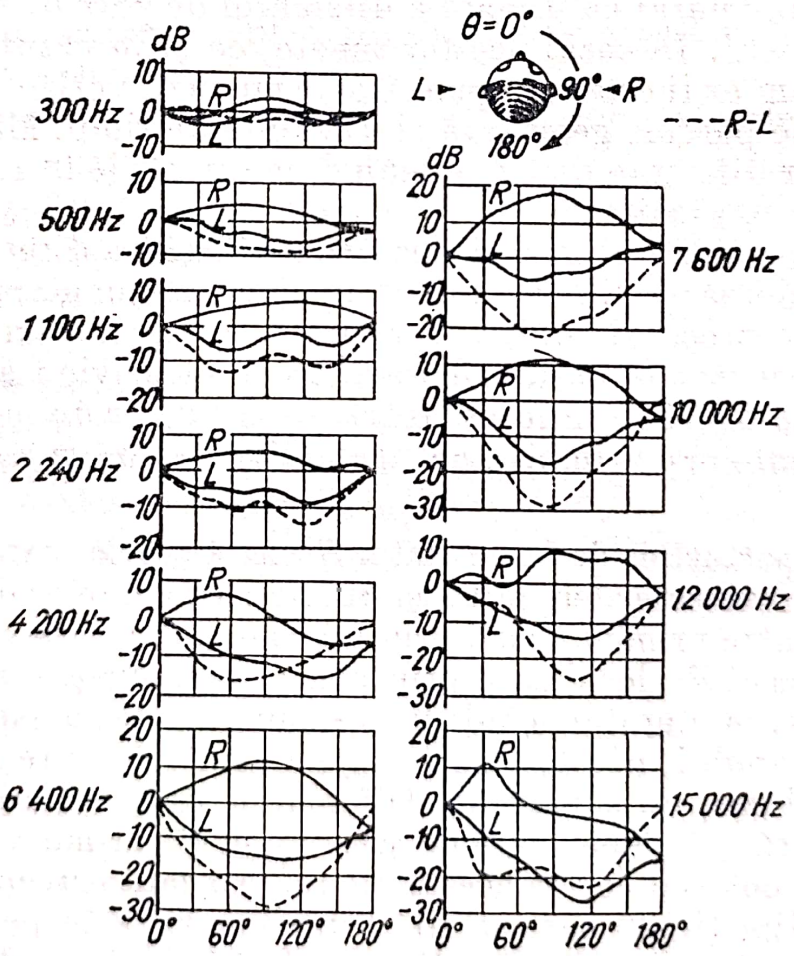


Fig. 5.2. Crearea unor variații de nivel de intensitate acustică prin rotirea sursei sonore împrejurul capului ascultătorului.

noră care emitea semnale sinusoidale și pe care o roteau în jurul ascultătorului. La frecvența de 300 Hz, diferențele de nivel $(R-L)$, desenate cu linie întreruptă, sînt foarte mici, practic nesesizabile. La 15 kHz, pentru un unghi de 120°, diferențele de nivel ajung de ordinul a 20 dB.

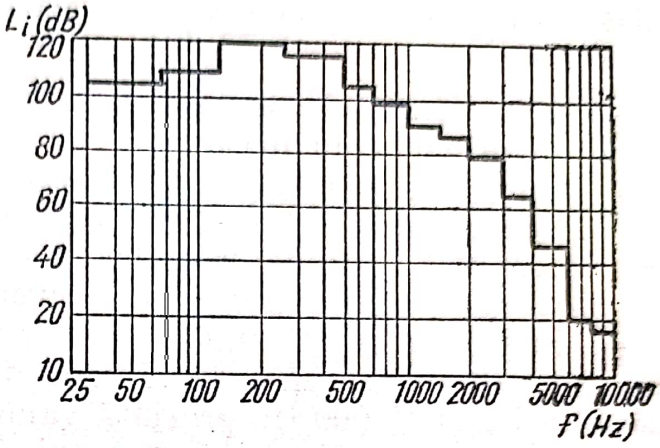


Fig. 5.3. Aspectul spectrului de frecvență al vocii bărbătești.

Dacă în loc de sunete sinusoidale se consideră unele sunete mai complexe, care au totuși o componență a spectrului de frecvențe practic constantă, cum ar fi, de exemplu, vocea bărbătească, se pot determina, de asemenea, diferențele nivelelor de intensitate. Acestea au fost de altfel considerentele care au stat la baza unor determinări făcute de De Boer. El a stabilit aspectul spectrului de frecvențe al vocii bărbătești (fig. 5.3). După aceea, ținînd seamă de rezultatele măsurărilor prezentate în fig. 5.2, a calculat raporturile de intensitate ale undelor sonore care ajung în acest caz la urechile ascultătorului, calculele întocmite permițîndu-i trasarea diagramei din fig. 5.4. Din analiza acestei diagrame se poate trage concluzia interesantă că, pentru unghiuri θ cuprinse între 0 și 50°, diferența de nivel de intensitate ΔL_I, în decibeli, este practic proporțională cu valoarea unghiului făcut de direcția în care se percepe sursa sonoră aparentă cu planul perpendicular pe mijlocul bazei de redare. Tot din această caracteristică mai rezultă că diferența maximă a nivelelor de intensitate sonoră, $\Delta L_{I\,max}$, este de aproximativ 7 dB. De Boer a admis, în urma cercetărilor întreprinse, că însușirea de a localiza sursele sonore de către organul auditiv uman se

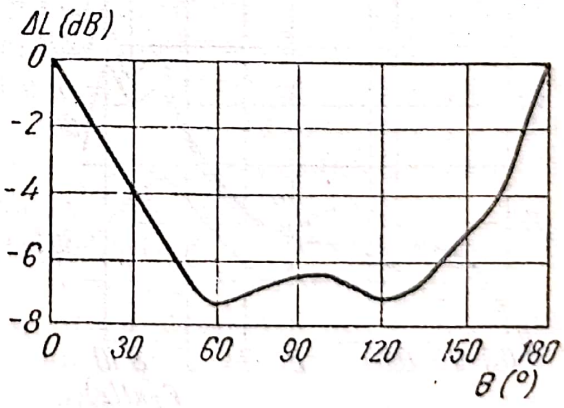


Fig. 5.4. Variația diferenței de nivel de intensitate acustică ΔL_I în funcție de valoarea unghiului de incidență θ al undelor acustice (în cazul vocii bărbătești).

datorește, în cea mai mare parte, acestor diferențe de nivele de intensitate acustică.

Teoria diferențelor spectrelor de frecvență (a diferențelor de timbru). O altă teorie privind mecanismul de localizare a surselor sonore de către un ascultător este aceea care se referă la diferențele prezentate de spectrele de frecvență ale sunetelor emise de aceste surse. Este cunoscut faptul că, în general, un sunet complex este alcătuit dintr-o frecvență fundamentală și un anumit număr de frecvențe armonice. În fig. 5.2 se poate observa că diferențele dintre nivelele de intensitate sonoră ΔL_I variază foarte mult cu frecvența, astfel încît dacă la 300 Hz ele sînt practic nesesizabile, la 15 000 Hz prezintă valori de aproximativ 20 dB. De aci se poate trage concluzia că în cazul unor sunete complexe, raporturile între amplitudinea fundamentalei și amplitudinile armonicilor sînt în continuă schimbare în funcție de modificările de poziție ale sursei sonore, respectiv în funcție de schimbările valorii unghiului de incidență a undelor sonore față de planul urechilor. Dar cum schimbarea valorică a raporturilor dintre sunetul de frecvență fundamentală și cele de frecvențe armonice se traduce pînă la urmă printr-o modificare a timbrului sunetelor emise de sursă, rezultă că de fapt variația de timbru poate fi considerată ca un mijloc de localizare auditivă a surselor sonore. Așadar, sunetul ajuns la ascultători, respectiv caracteristicile sale tehnice și componenta sa spectrală, depind de unghiul de incidență al undelor acustice. Fenomenul poate fi mai ușor explicat dacă se cercetează caracteristicile din fig. 5.5.

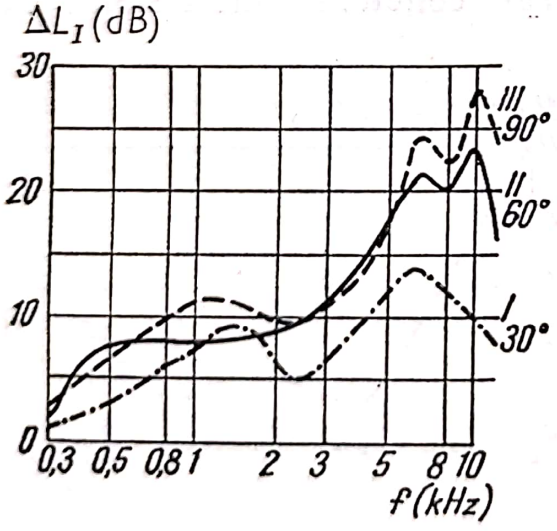


Fig. 5.5. Variația diferenței de nivel de intensitate acustică ΔL_I în funcție de frecvență pentru diferite valori ale unghiului de incidență al undelor acustice.

Curbele *I*, *II* și *III* reprezintă variația diferențelor de nivele de intensitate în funcție de frecvență, corespunzătoare unor poziții diferite ale sursei sonore (direcția în care este amplasată sursa determină împreună cu mediatoarea bazei unghiuri de 30°, 60° și, respectiv, 90°). Cu ajutorul acestor caracteristici se poate demonstra că dacă la frecvența de 300 Hz, diferența între nivele este practic nulă, la 10 000 Hz ea este de 10 dB —pentru unghiuri de 30°, de 23 dB pentru unghiuri de 60° și de aproximativ 30 dB pentru unghiuri de 90°. Așadar, se constată că

diferența de timbru ar putea permite localizarea prin auz a surselor sonore. Există însă o condiție indispensabilă pentru ca diferența de timbru să constituie într-adevăr un mijloc de a determina poziția sursei, și anume ca ascultătorul să cunoască dinainte timbrul respectivei surse sonore.

Cu toate că aparent s-ar părea că nu sînt deosebiri importante între teoria diferențelor de intensitate și cea a diferențelor de timbru, există, totuși, un element care le face să difere foarte mult. Astfel, dacă în primul caz, localizarea se poate efectua de către organul auditiv însuși, în cel de-al doilea caz mai trebuie să intervină și experiența acumulată de ascultători, adică cunoașterea anticipată a timbrului caracteristic al sursei. Este necesar ca ascultătorul să mai fi auzit sursa sonoră pentru a putea ca la o audiție ulterioară să o poată localiza pe baza diferențelor de timbru. Se poate spune cu destulă exactitate că în acest caz este vorba mai puțin de o determinare a direcției și mai mult de o interpretare a ei.

Teoria diferenței de fază. S-a arătat anterior, că teoria raporturilor de intensitate acustică nu poate fi aplicată în cazul sunetelor de frecvență joasă. Lucrul acesta era cunoscut de mult, dovadă că în urmă cu 60 de ani s-a dezvoltat o altă teorie, și anume aceea a posibilității de localizare auditivă pe baza diferențelor de fază. Această teorie pornește de la faptul foarte cunoscut că undele sonore sosite de la aceeași sursă sonoră nu ajung simultan la urechile ascultătorului. Se creează în acest fel un defazaj între fronturile de undă, care este considerat de către unii cercetători suficient pentru a permite localizarea auditivă. Alți cercetători contestă această teorie, arătînd că la frecvențe relativ ridicate, diferența de parcurs la cele două urechi se poate traduce prin diferențe de fază, care pot depăși 180°. În acest caz este foarte greu să se precizeze care dintre cele două unde sonore care ajung la urechile ascultătorului precede pe cealaltă în fază, deoarece același defazaj corespunde unor direcții diferite din care se percepe sursa sonoră.

Din cele arătate rezultă că, o determinare precisă a poziției sursei sonore, bazată pe diferențe de fază, nu pare a fi totdeauna posibilă. În plus, teoria diferențelor de fază mai poate fi criticată și pentru faptul că în cazul sunetelor complexe (așa cum sînt majoritatea sunetelor din natură) ea nu poate fi aplicată, neputîndu-se vorbi de o fază a semnalelor acustice corespunzătoare acestor sunete.

Din această cauză este mult mai logic să se discute mai puțin despre diferențele de fază și mai mult despre diferențele de parcurs, respectiv despre diferențele de timp corespunzătoare acestor diferențe de parcurs.

Scanned with OKEN Scanner

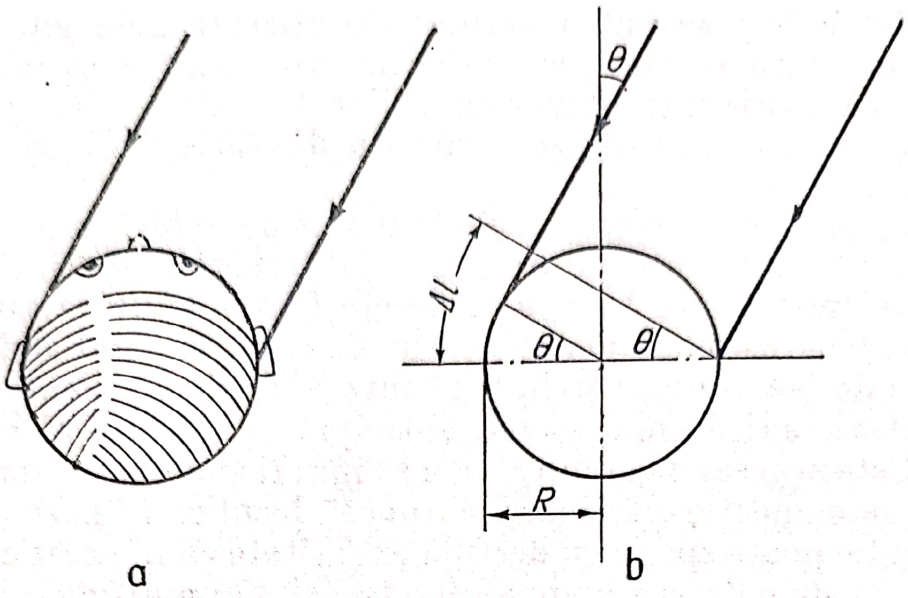


Fig. 5.6. Determinarea diferenței de drum Δl.

Teoria diferențelor de timp. Prin diferență de timp se înțelege diferența dintre momentele în care undele acustice produse de o sursă sonoră sosesc la cele două urechi ale ascultătorului. Pentru explicarea fenomenului, și pentru stabilirea unor relații cantitative, se consideră capul uman ca având forma unei sfere; la capetele unuia din diametrele sale se află urechile (fig. 5.6).

Notînd cu θ unghiul de incidență a undelor sonore, cu R raza capului și cu Δl diferența de parcurs, se poate scrie relația:

$$\Delta l = R\,(\theta + \sin\theta). \tag{5.1}$$

Diferența de timp corespunzătoare diferenței de parcurs este

$$\Delta t = \frac{\Delta l}{c} = \frac{R}{c}(\theta + \sin\theta), \tag{5.2}$$

unde c este viteza sunetului.

Știind că raza capului este în medie de 8,15 cm și că viteza sunetului $c = 3{,}4 \cdot 10^4$ cm/s, relația (5.2) poate fi pusă sub forma:

$$\Delta t\,(\text{ms}) = 0{,}24\ \ (\theta + \sin\theta). \tag{5.3}$$

Practic este însă preferabil să se lucreze cu următoarea relație, la stabilirea căreia s-a ținut seamă de faptul că forma capului s-a aproximat cu o sferă

$$\Delta t\,(\text{ms}) = 0{,}62 \sin\theta. \tag{5.4}$$

Autorii acestei teorii (von Hornborstel și Wertheimer) menționează că diferența minimă de timp perceptibilă este $\Delta t = 0{,}03$ ms, ceea ce corespunde unei diferențe de parcurs $\Delta l = 1$ cm.

Localizarea auditivă implică însă producerea simultană atît a diferențelor de nivele de intensitate sonoră cît și a diferențelor de timp. Procesul de localizare se realizează pe baza acestor două categorii de valori. Într-adevăr, dacă se consideră o funcție $\psi(\Delta L_I, \Delta t)$, care corespunde unghiului față de care se situează sursa sonoră, valoarea acestui unghi este condiționată atît de diferența de nivel ΔL_I, cît și de diferența de timp Δt.

Prin urmare se poate scrie:

$$\psi(\Delta L_I,\ \Delta t) = \psi\,(0,\ \Delta t) + \psi\,(\Delta L_I,\ 0). \tag{5.5}$$

Măsurările efectuate confirmă valabilitatea acestei relații. Experiențele realizate cu o instalație electroacustică, care permite atît modificarea valorilor lui ΔL_I și Δt, cît și controlul riguros al acestor valori, au arătat că deviațiile unghiulare obținute prin introducerea unor diferențe de nivele de intensitate ΔL_I pot fi compensate prin diferențe de timp Δt. S-a mai precizat că o modificare a poziției sursei sonore corespunzătoare unei diferențe $\Delta L_I = 5 - 12$ dB poate fi anihilată prin introducerea unei diferențe de timp Δt, avînd valoarea de 1 ms. Valorile diferite ale lui ΔL_I (de la 5 dB pînă la 12 dB) rezultă din natura deosebită a sunetelor emise (muzică, vorbă, zgomot).

5.1.3. *Procedeele de bază ale reproducerii stereofonice*

Deoarece în condițiile unei audiții directe, localizarea sursei sonore se face pe baza diferențelor de timp și de intensitate, este firesc să se urmărească păstrarea valorilor acestor mărimi și în cazul reproducerii, respectiv al transmisiunii electroacustice a sunetului prin intermediul unui sistem stereofonic.

Procedeele care permit traducerea în fapt a acestor deziderate sînt multiple. Unul dintre ele, denumit *procedeul A*, *B* comportă două microfoane distanțate între ele. Fiecare din cele două microfoane este conectat la cîte un canal electroacustic, ascultătorul dispunînd pentru audiție de două căști racordate la ieșirile acestor canale (fig. 5.7). Cînd distanța dintre cele două microfoane este de ordinul a 20 cm, sau cînd microfoanele sînt amplasate pe un cap artificial, procedeul acesta se mai numește *procedeul capului artificial*.

Scanned with OKEN Scanner

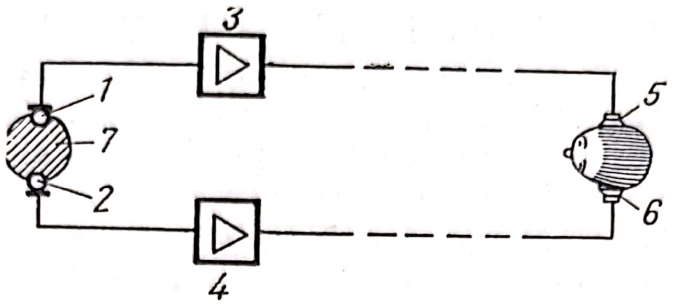


Fig. 5.7. Sistem de transmisiune stereofonică utilizînd procedeul *A*, *B*:
1, *2* — microfoane; *3*, *4* — canale de transmisiune; *5*, *6* — căşti telefonice; *7* — cap artificial.

Prin noţiune de „cap artificial" se înţelege o sferă cu diametrul cuprins între 12 şi 22 cm, avînd fixate la capetele unuia din diametrele sale două microfoane.

În cazul distanţării microfoanelor la mai mult de 20 cm, procedeul se numeşte *A*, *B cu microfoane distanţate*. Dacă se notează cu α_r unghiul făcut de dreapta care ar uni centrul capului artificial cu sursa sonoră aparentă şi de axa de simetrie a difuzoarelor şi cu α_{max} unghiul făcut de această axă cu direcţiile difuzoarelor, se pot trasa curbe ca cele din fig. 5.8, *c* cu ajutorul cărora se arată că poziţia sursei

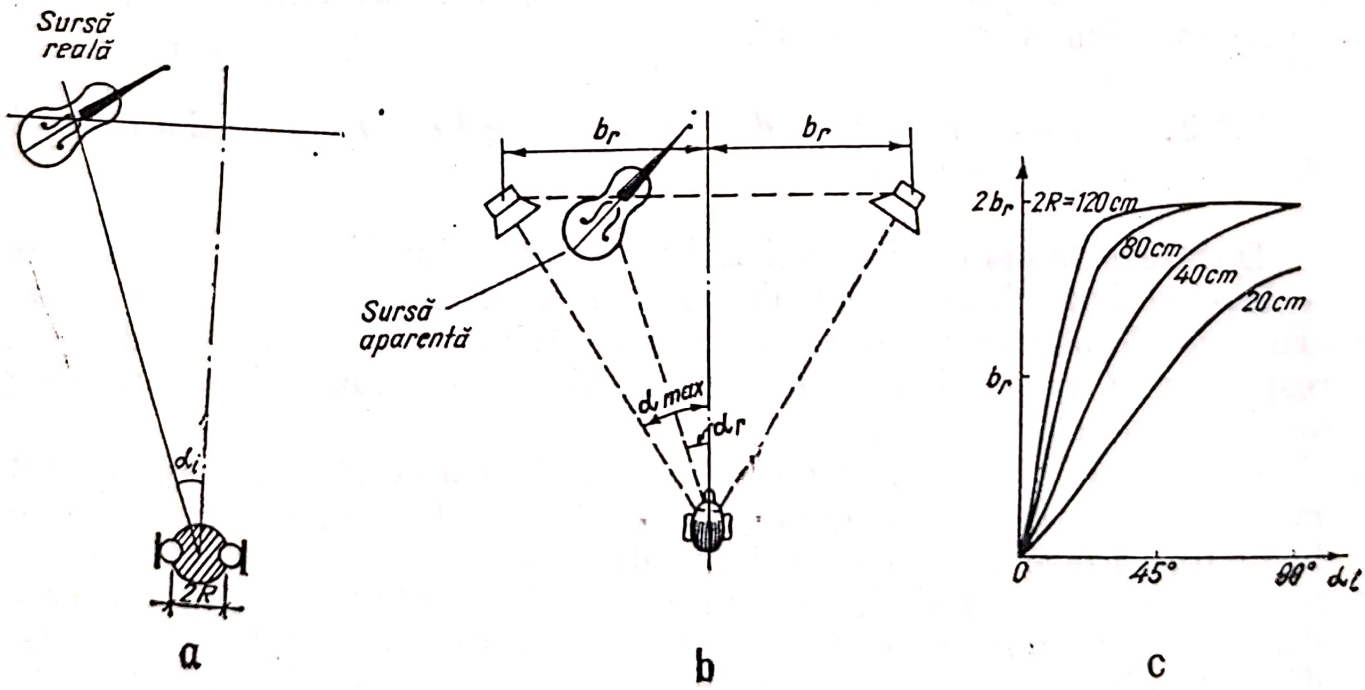


Fig. 5.8. Procedeul de înregistrare *A*, *B*:
a, *b* — parametrii prin care se definesc poziţiile surselor sonore reală şi imaginară; *c* — interdependenţa acestor parametri.

sonore aparente depinde în mare măsură de distanța dintre microfoane.

În această direcție sînt interesante și rezultatele unor măsurări efectuate de Meyer și Schodder. Aceștia au determinat atît valorile diferențelor de intensitate și de timp pentru care imaginea sonoră își păstrează poziția în mijlocul bazei, cît și condițiile limită pentru care poziția sursei sonore aparente coincide cu locul în care este amplasat unul din cele două difuzoare (fig. 5.9).

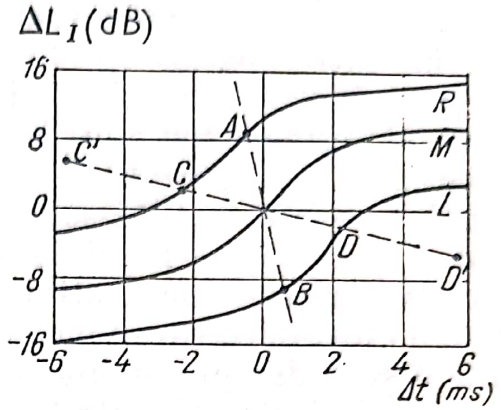


Fig. 5.9. Dependența dintre valorile diferențelor de intensitate acustică și de timp.

Ținînd seamă de diagrama din fig. 5.9, și considerînd situația în care se utilizează procedeul capului artificial, se poate trasa o dreaptă caracteristică AB, care arată dependența între variațiile de intensitate ΔL_I și cele de timp Δt, corespunzătoare acestui caz.

Mărind distanța între microfoane, diferențele de timp vor fi preponderente, caracteristica respectivă putînd fi reprezentată prin dreapta CD.

Așa cum rezultă din caracteristicile din fig. 5.8 și 5.9, la reproducerea stereofonică pot apărea cîte o dată unele fenomene neplăcute ca, de exemplu, fenomenul „golului de mijloc", adică ascultătorul are impresia că sunetul sosește de la difuzorul din stînga sau de la cel din dreapta și niciodată din spațiul cuprins între ele. În general, această anomalie se datorește unor defecțiuni de captare a sunetului. Pentru explicarea acestui fenomen este necesar să se revină la caracteristicile din fig. 5.9. Presupunînd că între două microfoane amplasate, de exemplu, în fața unei orchestre, există o distanță mare, diferențele maxime de timp nu vor mai corespunde punctelor C și D, ci altor puncte C' și D'. Bineînțeles că atunci cînd sursa sonoră se deplasează, diferențele de nivel de intensitate și de timp își modifică valorile continuu. Dacă amplasamentul inițial al sursei reale corespunde punctului C', la reproducere nu vor exista practic modificări ale poziției sursei aparente pînă cînd sursa sonoră reală nu va avea o poziție corespunzătoare punctului C. În acest interval de timp, deși sursa reală s-a deplasat, sursa aparentă este percepută continuu din difuzorul din stînga. Dacă presupunem că deplasarea sursei reale se face cu o viteză mai mare, punctul D va fi repede atins și sunetul pare că sosește numai de la difuzorul din dreapta. Deci, în aceste situații, sursa sonoră va fi localizată în direcția difuzoarelor

utilizate pentru reproducerea sunetului și numai foarte rar în spațiul cuprins între ele.

Procedeul A,B prezintă și alte inconveniente. Astfel, dacă ascultătorul folosește pentru audiție căști telefonice, o dată cu modificarea poziției capului său, totalitatea surselor sonore aparente își schimbă și ele poziția; rotirea capului ascultătorului spre stînga produce o deplasare în aceeași direcție a bazei de redare. Din acest motiv se preferă înlocuirea căștilor telefonice individuale prin casete cu difuzoare. Se ajunge astfel la instalații care comportă două casete cu difuzoare: una plasată în față și în dreapta ascultătorului, cealaltă — în fața și în stînga sa. O astfel de instalație este în măsură să asigure o reproducere stereofonică satisfăcătoare. Diferențele de nivel de intensitate acustică și diferențele de timp ale semnalelor care sosesc de la cele două difuzoare contribuie la reproducerea stereofonică.

Cu un amplasament al difuzoarelor ca cel arătat în fig. 5.10, De Boer a făcut o serie de experimentări stabilind în acest fel poziția surselor sonore aparente precum și funcția care exprimă dependența între diferența de intensitate ΔL_I și cea de timp Δt (fig. 5. 11).

Analizînd aceste caracteristici, se observă că unghiul maxim care delimitează poziția sursei sonore aparente corespunde, evident, direcțiilor

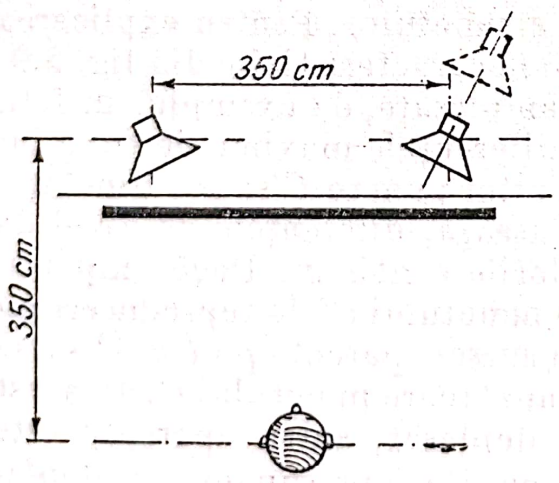
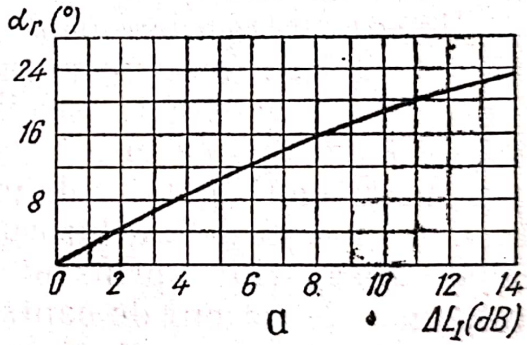


Fig. 5.10. Amplasamentul surselor sonore și al ascultătorului în cazul experiențelor efectuate de De Boer.



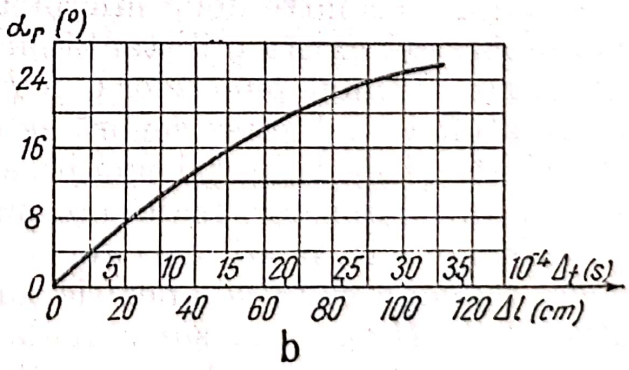


Fig. 5.11. Variația poziției sursei de sunet imaginare:

a — în funcție de diferența de intensitate acustică; *b* — în funcție de diferența de timp și de parcurs.

în care sînt amplasate difuzoarele. În cazul experiențelor făcute de De Boer (distanțele sînt precizate în fig. 5.10), valoarea acestui unghi este de 27°. La alte instalații destinate reproducerii stereofonice, unghiul făcut de direcțiile difuzoarelor poate avea și alte valori și în acest caz și unghiurile α_r vor fi diferite de cele determinate de De Boer. În aceste situații, însă, deviațiile imaginii sonore vor fi cvasiproporționale cu cele rezultate din caracteristicile prezentate în fig. 5.11.

În afară de procedeul A,B, descris anterior, există și alte metode care permit obținerea unor înregistrări sau transmisiuni stereofonice, cunoscute sub denumirea de procedee ale stereofoniei de intensitate.

Unul dintre acestea este denumit *procedeul* X, Y și folosește un microfon de coincidență cu caracteristici de directivitate identice (de unde și denumirea de sistem simetric). În fig. 5.12 sînt prezentate cele trei combinații posibile ale acestor caracteristici, utilizate în sistemul X,Y.

Exprimarea matematică a fiecărui caz în parte este posibilă dacă se folosește observația că există o proporționalitate între tensiunea obținută la bornele unui microfon și funcția sa de directivitate rotită cu un anumit unghi față de axele sistemului de captare. Aceste relații au forma generală

$$E_1 = eR\left(\frac{\pi}{4} + \theta\right) \quad \text{și} \quad E_2 = eR\left(\frac{\pi}{4} - \theta\right),$$

unde R este o funcție care diferă de la caz la caz.

Dacă se consideră două caracteristici în formă de opt, decalate între ele cu $\frac{\pi}{2}$ (fig. 5.12, *a*), relațiile de mai sus devin:

$$E_1 = e\cos\left(\frac{\pi}{4} + \theta\right); \tag{5.6}$$

$$E_2 = e\cos\left(\frac{\pi}{4} - \theta\right). \tag{5.7}$$

Cînd funcțiile de directivitate sînt cele corespunzătoare diagramelor din fig. 5.12, *b* (cardiode decalate cu $\frac{\pi}{2}$), se obțin relațiile:

$$E_1 = e\left[1 + \cos\left(\frac{\pi}{4} + \theta\right)\right]; \tag{5.8}$$

$$E_2 = e\left[1 + \cos\left(\frac{\pi}{4} - \theta\right)\right]. \tag{5.9}$$

Scanned with OKEN Scanner

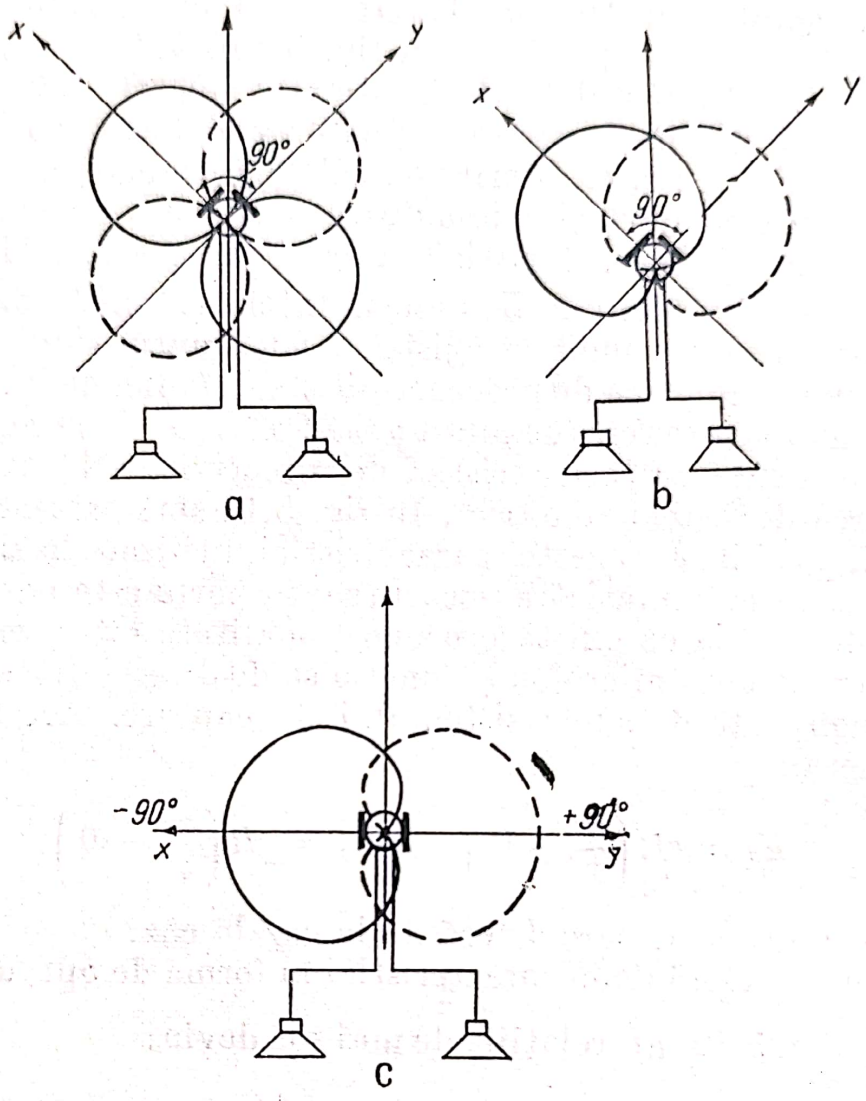


Fig. 5.12. Caracteristicile de directivitate ale microfoanelor de coincidență utilizate în procedeul de înregistrare stereofonică *XY*:

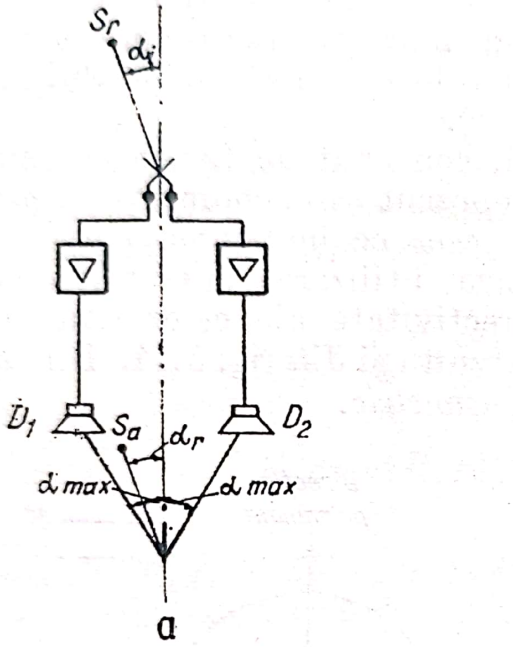
a—caracteristici în formă de opt, decalate cu $\frac{\pi}{2}$; *b*, *c*—caracteristici în formă de cardioide decalate cu $\frac{\pi}{2}$, respectiv π.

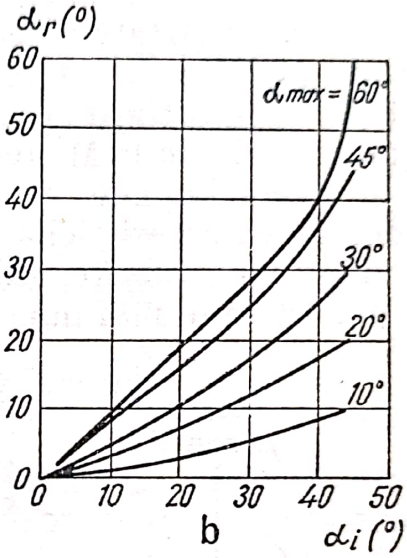
Cea de-a treia situație (cardioide decalate cu π), prezentată în fig. 5.12, *c*; poate fi exprimată matematic prin relațiile:

$$E_1 = e\left[1 + \cos\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right)\right]; \qquad (5.10)$$

$$E_2 = e\left[1 + \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)\right]. \qquad (5.11)$$

Revenind la sistemul stereofonic X, Y, se consideră situația prezentată în fig. 5.13, a, în care se utilizează un microfon de coincidență corespunzător. Dacă se notează cu α_i unghiul care delimitează poziția sursei reale și cu α_r unghiul corespunzător sursei sonore aparente, se pot





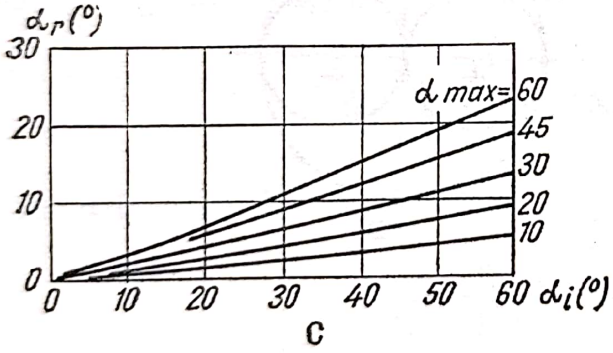


Fig. 5.13. Înregistrarea stereofonică utilizînd procedeul X, Y:
a — amplasarea surselor sonore și a ascultătorului; b, c — variația unghiului α_r în funcție de α_i în cazul folosirii unor microfoane de coincidență cu caracteristici de directivitate în formă de opt, respectiv de dublă cardioidă, decalate cu 90°.

trage concluzii interesante privind felul în care variază α_r în funcție de α_i, pentru diferite valori ale semiunghiului delimitat de direcția în care ascultătorul vede fiecare din cele două casete cu difuzoare și de axa de simetrie a sistemului ($2\,\alpha_{max}$). Astfel, în fig. 5.13, b s-a considerat cazul unui microfon de coincidență cu caracteristici de directivitate în formă de opt, decalate cu 90° (ca cele din fig. 5.12, a) și s-a reprezentat grafic funcția $\alpha_r = f(\alpha_i)$. Se observă că pînă la valori ale lui α_i apropiate de 45°, α_r variază proporțional cu α_i. Prin această proporționalitate se arată că pozițiile sursei de sunet reale corespund cu cele ale sur-

sei de sunet aparente. În fig. 5.13, *c* sînt prezentate caracteristici similare, pentru situația în care se utilizează microfoane de coincidență, ale căror caracteristici de directivitate — dublă cardioidă — sînt decalate, de asemenea, cu 90° (ca cele din fig. 5.12, *b*). În acest caz, de asemenea, există o proporționalitate între valorile lui α_i și cele ale lui α_r, cu deosebirea că pentru unghiuri α_i mari, (caz în care microfonul este apropiat de sursa sonoră) corespund valori mici ale unghiului α_r (sursa de sunet pare depărtată de ascultător).

Un alt procedeu al stereofoniei, conceput de Lauridsen, cu largă aplicabilitate în ultimii ani, este cunoscut sub denumirea de *procedeul M,S* (prescurtare de la Mitte- Seite, ceea ce înseamnă centru-lateral). Acest procedeu impune, de asemenea, utilizarea unor microfoane de coincidență, caracteristicile de directivitate ale celor două capsule fiind, în general, diferite, așa cum rezultă și din fig. 5.14. Din această cauză procedeul se mai numește și *asimetric*.

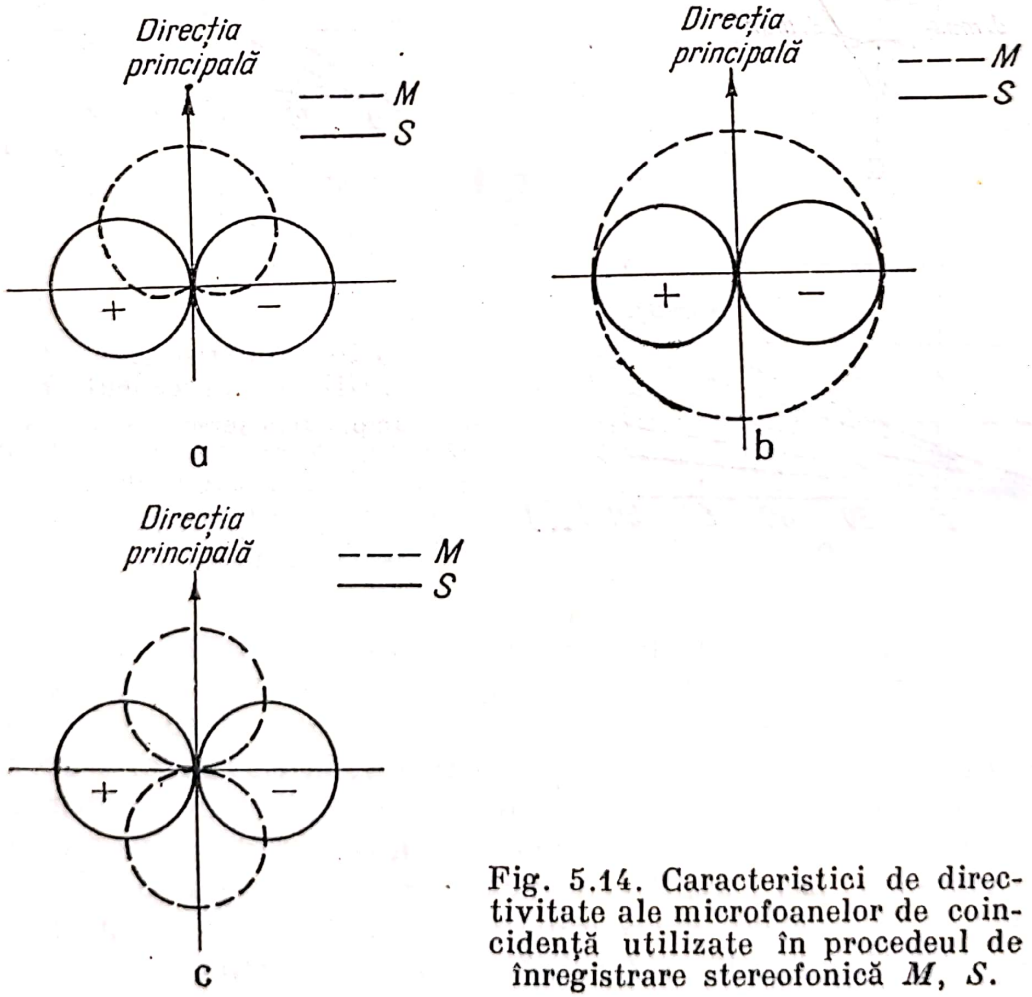


Fig. 5.14. Caracteristici de directivitate ale microfoanelor de coincidență utilizate în procedeul de înregistrare stereofonică *M*, *S*.

Se poate observa că una din capsulele microfonului, și anume, cea care furnizează semnalul M, este orientată spre sursa sonoră (direcția principală), pe cînd cealaltă este orientată perpendicular pe prima (aceasta din urmă furnizează semnalul S). La difuzoarele amplasate în fața ascultătorului vor ajunge însă pînă la urmă semnalele $M+S$ și $M-S$ obținute prin intermediul unui dispozitiv de însumare și scădere.

În fiecare din variantele MS, semnalul sumă, $M+S$, și cel diferență, $M-S$, se determină în funcție de tensiunile obținute la bornele celor două capsule ale microfonului de coincidență, relațiile matematice corespunzătoare fiind următoarele:

$$E_1 = e\left[R_1(\theta) + R_2\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right)\right];$$

$$E_2 = e\left[R_1(\theta) - R_2\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right)\right].$$

Funcțiile R_1 și R_2 diferă de la caz la caz. Astfel, cînd caracteristicile de directivitate au formă de cardioidă și opt, și sînt decalate între ele cu $\frac{\pi}{2}$ (fig. 5.14, *a*), se poate scrie că suma $M+S$ este de forma:

$$E_1 = e\left[1 + \cos\theta + \cos\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right)\right], \tag{5.12}$$

iar diferența $M-S$ de forma:

$$E_2 = e\left[1 + \cos\theta - \cos\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right)\right]. \tag{5.13}$$

Dacă pentru transmisiunea stereofonică se utilizează sistemul M,S cu caracteristicile de directivitate din fig. 5.14, *b* (cerc și opt decalate cu $\frac{\pi}{2}$), relațiile matematice corespunzătoare sînt:

$$E_1 = e\left[1 + \cos\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right)\right]; \tag{5.14}$$

$$E_2 = e\left[1 - \cos\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right)\right]. \tag{5.15}$$

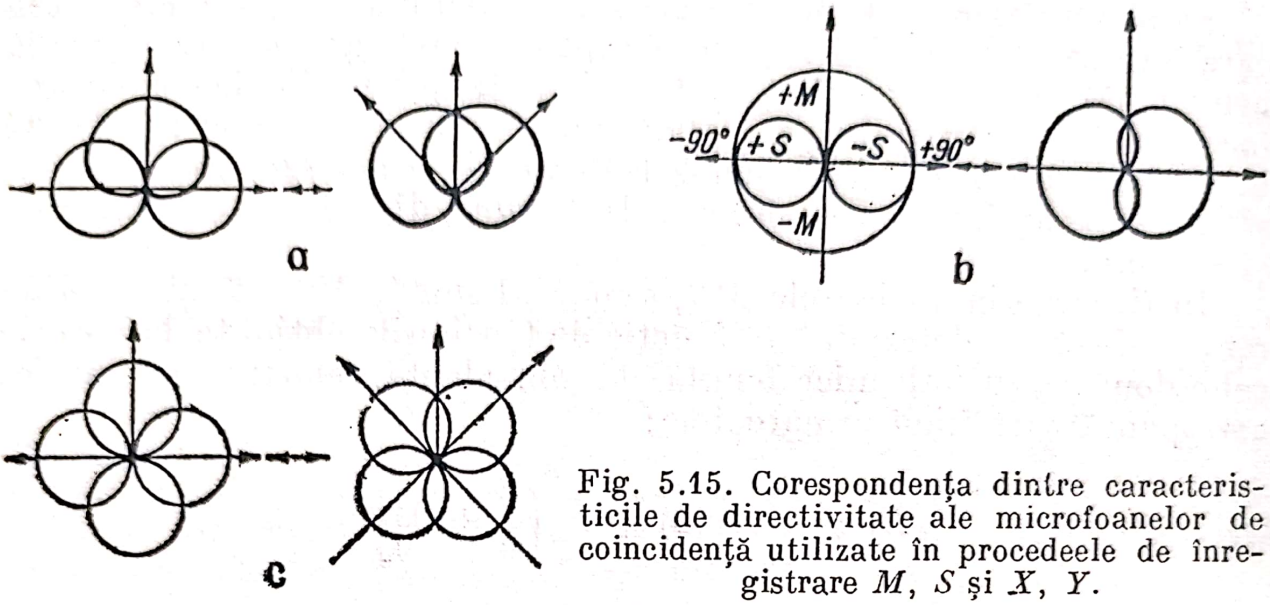


Fig. 5.15. Corespondența dintre caracteristicile de directivitate ale microfoanelor de coincidență utilizate în procedeele de înregistrare M, S și X, Y.

În cea de-a treia situație (fig. 5.15, *c*) cînd se folosesc caracteristici sub formă de opt decalate cu $\frac{\pi}{2}$, expresiile matematice corespunzătoare sînt:

$$E_1 = e\left[\cos\theta + \cos\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right)\right]; \tag{5.16}$$

$$E_2 = e\left[\cos\theta - \cos\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right)\right]. \tag{5.17}$$

Între diferitele combinații de caracteristici de directivitate ale microfoanelor de coincidență utilizate în sistemele X, Y și M,S există anumite relații de echivalență. Așa cum se observă în fig. 5.15, unui ansamblu de caracteristici, din cele prezentate în fig. 5.12 (sistemul X, Y), îi corespunde o anume combinație de caracteristici din cele arătate în fig. 5.14 (sistemul M, S). Aceste echivalențe se concretizează prin intermediul unor egalități, care pot fi deduse din relațiile (5.6) — (5.17) și care sînt de forma

$$\begin{aligned} M + S &= qX, \\ M - S &= qY \end{aligned} \tag{5.18}$$

și

$$\begin{aligned} X + Y &= pM, \\ X - Y &= pS. \end{aligned} \tag{5.19}$$

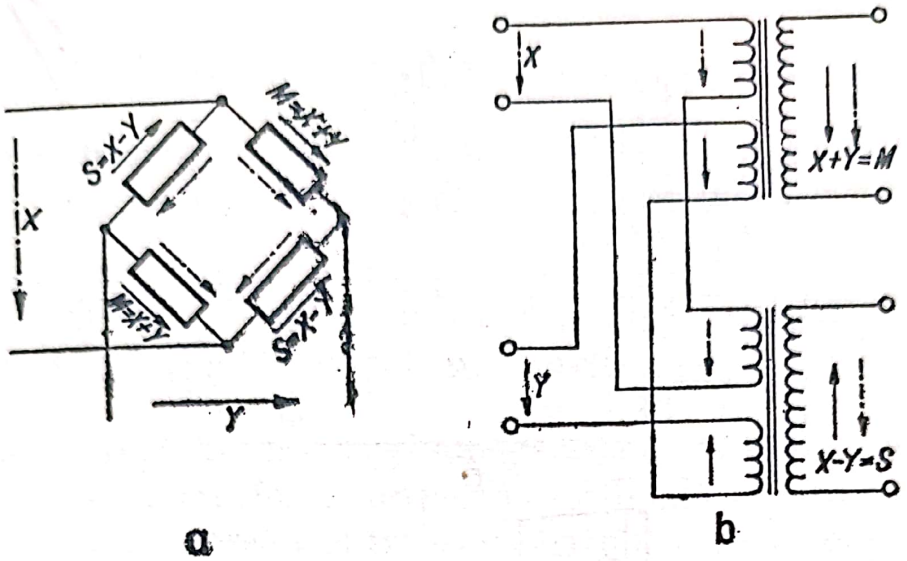


Fig. 5.16. Dispozitive de transformări sumă - diferență:
a — punte; *b* — transformator.

Dispozitivul capabil să efectueze aceste transformări poate fi sau de tipul punte (fig. 5.16, *a*) sau de tipul transformator (fig. 5.16, *b*).

În schemele de principiu ale acestor dispozitive sînt indicate sensurile curenților din fiecare circuit, fiind evident că ambele dispozitive pot asigura însumarea și scăderea semnalelor stereofonice. În practică, însă, se folosește mai mult dispozitivul cu transformator, deoarece acesta prezintă un dublu avantaj: pe de-o parte, nu introduce atenuări suplimentare în lanțul electroacustic, iar pe de altă parte, poate fi utilizat și ca element intermediar între circuitele simetrice și cele asimetrice.

Ca efect asupra audiției, trebuie să se menționeze că modificarea raportului între nivelele semnalelor X, Y dintr-un sistem stereofonic produce schimbarea direcției sursei sonore aparente, pe cînd modificarea raportului între nivelele semnalelor M, S și, în special, schimbarea valorii nivelului semnalului S determină mărirea sau micșorarea lărgimii bazei. În acest scop a și fost conceput un dispozitiv cu ajutorul căruia se realizează atît modificarea de direcție cît și de lărgime a bazei. Acest aparat, denumit „dispozitiv de reglare a direcției și a bazei“ (fig. 5.17) este cunoscut de multe ori cu denumirea sa din limba germană, anume „Richtungsmischer“.

Dimensionarea elementului pentru reglarea direcției R_D se face pe baza rezultatelor măsurărilor efectuate de De Boer, care a stabilit va-

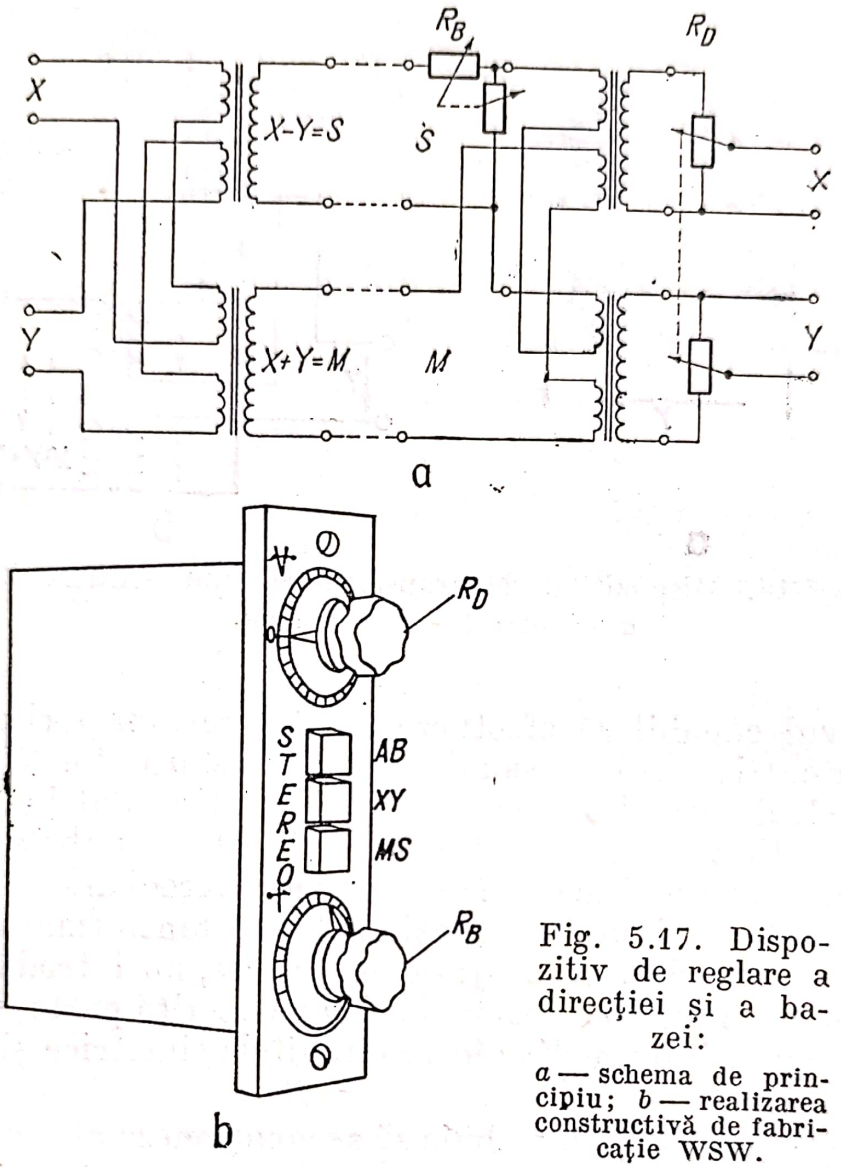


Fig. 5.17. Dispozitiv de reglare a direcției și a bazei:
a — schema de principiu; *b* — realizarea constructivă de fabricație WSW.

loarea de 27° ca valoare maximă a unghiului de deviație a sursei sonore aparente față de axa de simetrie a difuzoarelor. Știind că pragul de sensibilitate a urechii, în ceea ce privește localizarea surselor sonore, este de 3—4° și raportînd la această valoare, valoarea unghiului maxim de 27°, rezultă că R_D trebuie să aibă 8 poziții de reglaj.

Dimensionarea elementului pentru reglarea bazei R_B se face pornind, de asemenea, de la rezultatele obținute de De Boer, și anume el a stabilit că pentru ca imaginea sonoră să fie „totul stînga" sau „totul dreapta" este nevoie ca nivelul raportului semnalelor X și Y să fie 14 dB.

5.1.4. *Compatibilitatea sistemelor stereofonice*

Compatibilitatea constă în traducerea în fapt a condiției ca orice înregistrare stereofonică să poată fi reprodusă printr-o instalație monofonică și, invers, orice înregistrare monofonică să se poată reproduce prin intermediul unui sistem stereofonic. Realizarea compatibilității unei înregistrări stereofonice impune ca din două semnale stereo să se obțină atît informația monofonică cît și, bineînțeles, informația stereofonică.

În general, reproducerea unei înregistrări monofonice prin intermediul unui sistem stereofonic nu prezintă dificultăți, deoarece în acest caz, pentru reproducerea sau transmisia semnalelor monofonice se vor putea utiliza două canale electroacustice în loc de unul, fapt care antrenează o ameliorare a calității reproducerii.

Situația inversă, în care se impune reproducerea unei înregistrări stereofonice printr-o instalație monofonică, este mult mai dificil de realizat. După cum s-a mai arătat, la o înregistrare stereofonică, nivelele semnalelor electrice din cele două canale variază foarte mult, cunoscut fiind faptul că din diferențele de nivele ale intensității acustice rezultă efectul stereofonic, respectiv se obține localizarea sursei sonore aparente. Este de la sine înțeles că din această cauză ascultarea programului stereofonic printr-un singur canal electroacustic va crea ascultătorului o senzație neplăcută, deoarece vor apărea variații de nivel de intensitate acustică nejustificate, calitatea tehnică și acustică ale acestui program avînd de suferit. Există totuși posibilitatea ca dintr-un astfel de sistem stereofonic să rezulte semnale monofonice compatibile. Astfel, în cazul utilizării procedeului de transmisie și înregistrare stereofonică M, S — care comportă pentru semnalul M microfoane orientate spre sursa sonoră, cu caracteristică de directivitate omnidirecțională, dar mai ales în formă de cardioidă — canalul corespunzător M poate fi folosit pentru transmisia sau înregistrarea monofonică compatibilă. Din acest punct de vedere, procedeul M, S este mai avantajos decît procedeul X, Y. În situația în care se utilizează acest ultim procedeu, asigurarea condițiilor de compatibilitate implică introducerea în instalațiile electroacustice respective a unor dispozitive pentru „sumă și diferență“, astfel încît din însumarea semnalelor X și Y să rezulte semnalul M, compatibil.

Scanned with OKEN Scanner

5.1.5. *Suprafața utilă pentru audiția stereofonică*

După cum s-a mai precizat în cadrul acestui capitol, în cazul transmisiunilor stereofonice, impresia de direcție rezultă din diferențele de nivel de intensitate și de timp de sosire ale semnalelor acustice emise de difuzoare, care ajung la urechile ascultătorului. Pentru ca aceste diferențe să fie riguros egale cu cele care sînt retransmise prin intermediul difuzoarelor, trebuie ca ascultătorul să se așeze într-o poziție egal depărtată de cele două difuzoare, adică într-un plan perpendicular pe mijlocul bazei. Cînd auditorul este format dintr-un singur ascultător, lucrul acesta este perfect realizabil. Dacă însă există un număr mai mare de ascultători și dacă s-ar dori respectarea acestei condiții, atunci s-ar ajunge la situația, destul de ciudată, de așezare a tuturor persoanelor din încăperea de audiție într-un singur șir, ceea ce ar fi și neplăcut și greu de realizat. Din fericire, zona în care se obține o bună ascultare stereofonică este ceva mai mare. În fig. 5.18 este prezentată delimitarea suprafeței de audiție stereofonică în cazul folosirii unui sistem de transmisiune cu două canale electroacustice, prevăzute cu difuzoare distanțate la 5 m.

Se observă că această suprafață (zona haşurată) se încadrează între două hiperbole, difuzoarele fiind amplasate în focarele fiecăreia dintre ele. La intersecția suprafeței de audiție cu baza de redare, lățimea utilă este foarte mică, de aproximativ 0,25 m, iar la o distanță de 5 m față de bază, lărgimea zonei este numai de 0,5 m. Numai la o distanță mai mare decît 10 m se poate vorbi de o mărire substanțială a lățimii zonei utile de percepere a fenomenului stereofonic. După cum se vede, în aceste condiții este imposibil să se producă efectul stereofonic pentru ascultătorii situați cu mult în afara axului de simetrie al celor două difuzoare. Soluții de remediere a acestui inconvenient există, ele constînd, în principiu, din crearea într-o zonă cît mai întinsă a unor raporturi ale nivelelor de intensitate sonoră cît mai apropiate de unitate. Traducerea în fapt a acestui deziderat se realizează pe două căi: prin utilizarea unor difuzoare cu caracteristici de directivitate convenabil alese și prin orientarea judicioasă a acestor difuzoare. În ambele cazuri trebuie să se țină seamă dacă spațiul care se so-

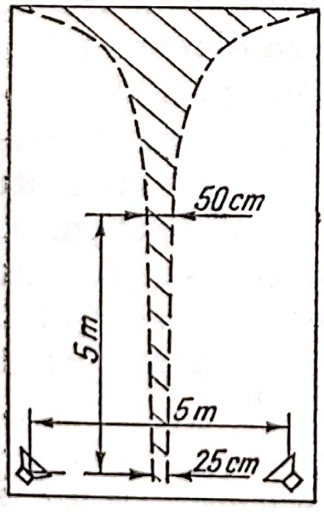


Fig. 5.18 Delimitarea zonei de audiție stereofonică.

norizează este reflectant sau absorbant din punct de vedere acustic. Zona utilă de audiție stereofonică se delimitează prin precizarea curbelor periferice, cunoscut fiind faptul că aceste curbe reprezintă locul geometric al punctelor pentru care nivelul presiunilor acustice, corespunzătoare celor două difuzoare, este constant și are o valoare acceptabilă, de maximum 3 dB.

Considerînd situația indicată în fig. 5.19 și știind că presiunea sonoră descrește proporțional cu distanța față de sursă, raportul în decibeli acceptat pentru presiunile celor două difuzoare într-un punct oarecare P este dat de relația

$$L = 20 \lg \frac{AQ}{BR} \cdot \frac{BP}{AP}, \tag{5.20}$$

în care AQ și BR sînt mărimile măsurate pe caracteristicile de directivitate ale dispozitivelor, iar AP și BP, distanțele de la difuzoare la ascultător.

În încăperile tratate acustic, foarte fonoabsorbante, realizarea unei bune audiții stereofonice se poate obține atît prin orientarea judicioasă a difuzoarelor, cît și prin alegerea unei caracteristici de directivitate corespunzătoare. Dată fiind situația prezentată în fig. 5.20, în care difuzoarele D_1 și D_2 au caracteristici de directivitate corespunzătoare unui

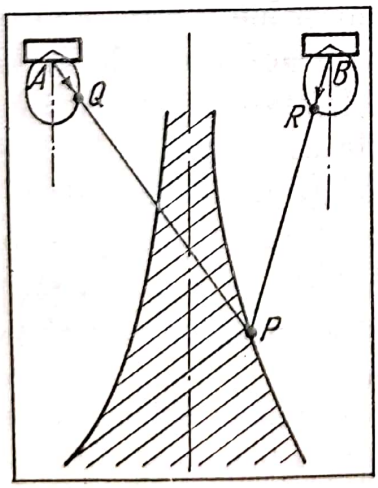


Fig. 5.19. Determinarea zonei de audiție stereofonică.

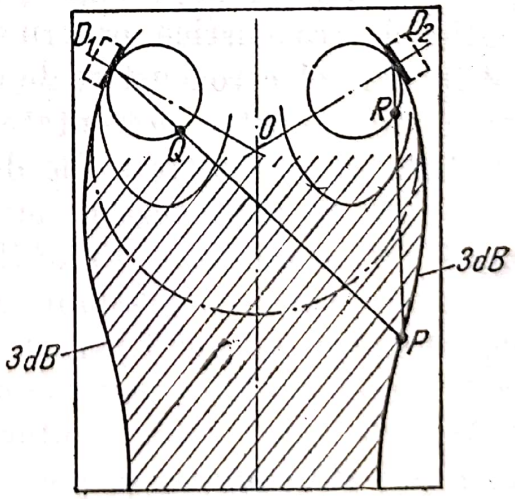


Fig. 5.20. Lărgirea zonei de audiție stereofonică prin utilizarea unor surse cu caracteristică de directivitate circulară.

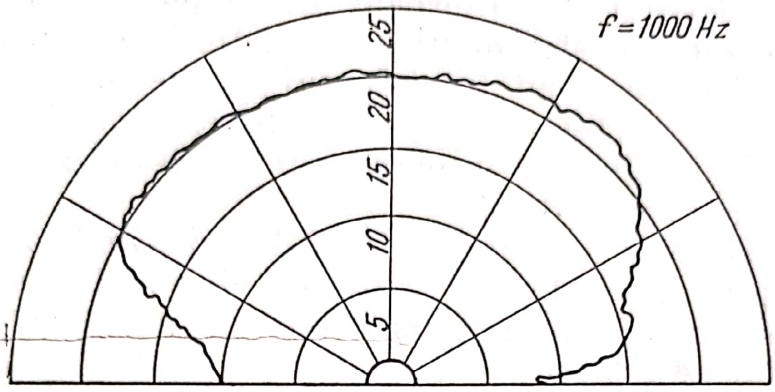


Fig. 5.21. Caracteristica de directivitate (la 1 000 Hz) a unui difuzor electrostatic tip Quad.

dublet acustic (în formă de opt), iar orientarea fiecărui difuzor se face astfel, încît axul său de simetrie să facă cu planul perpendicular pe mijlocul bazei un unghi de 60°, se obțin presiuni egale nu numai de-a lungul acestui plan, ci și pe cercul de rază D_1O.

În condițiile arătate, suprafața caracterizată prin raporturi de presiune acustică corespunzătoare unor diferențe de nivel de maximum 3 dB crește apreciabil.

În legătură cu acest fapt, este interesant să fie amintite experimentările efectuate la Comitetul de Radiodifuziune și Televiziune. Într-o încăpere special amenajată din punct de vedere acustic, s-a realizat o instalație electroacustică pentru audiții stereofonice, care comportă două difuzoare electroacustice de tip Quad, cu caracteristicile de directivitate de forma celor prezentate în fig. 5.21. Distanța între difuzoare este de 3,75 m, iar între axele de simetrie ale difuzoarelor există un unghi de 120°. Se realizează în acest fel o suprafață utilă de audiție stereofonică de aproximativ 13 m² (fig. 5.22), în interiorul căreia se obțin diferențele de nivel de presiune admisibile (3 dB). În această situație se asigură spațiu suficient pentru ca un număr de 15 persoane să poată audia în bune condiții programe stereofonice.

O lărgire a zonei utile, în interiorul căreia să fie posibilă perceperea fenomenului stereofonic, se poate realiza și prin folosirea judicioasă a proprietăților reflectante ale pereților încăperii. Bineînțeles că nu orice fel de reflexii pot contribui la lărgirea zonei de audiție. Forma și tratamentul sălii respective trebuie astfel concepute și realizate, încît

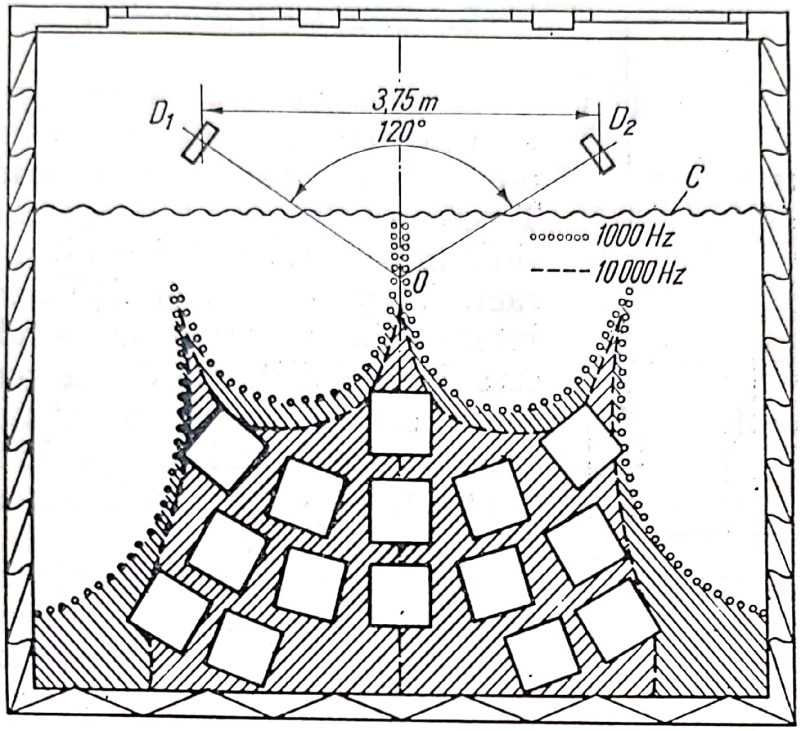


Fig. 5.22. Delimitarea zonei de audiție stereofonică în încăperea destinată ascultărilor stereofonice de la Comitetul de Radiodifuziune și Televiziune:
D_1, D_2 — difuzoare; C — cortină transparentă d.p.d.v. acustic.

pereții să contribuie prin reflexii la crearea unor imagini sonore echivalente cu niște difuzoare. În fig. 5.23 este prezentată situația în care reflexiile cauzate de pereți contribuie la mărirea suprafeței de audiție stereofonică.

Într-adevăr, difuzoarele D_1 și D_2 permit ascultătorului situat în punctul O_1 să localizeze prin audiție directă sursa sonoră aparentă. Dar, în afară de undele acustice directe, mai există și unde acustice reflectate, ca, de exemplu, cele din punctele de incidență A, B și A', B', care contribuie la perceperea fenomenelor stereofonice și pentru ascultătorul situat în punctul O_2. Așadar, acesta este un caz în care undele reflectate concură la lărgirea zonei de audiție stereofonică.

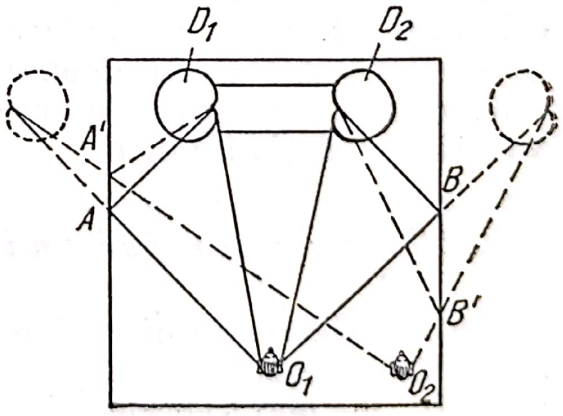


Fig. 5.23. Mărirea zonei de audiție stereofonică prin intermediul reflexiilor sonore.

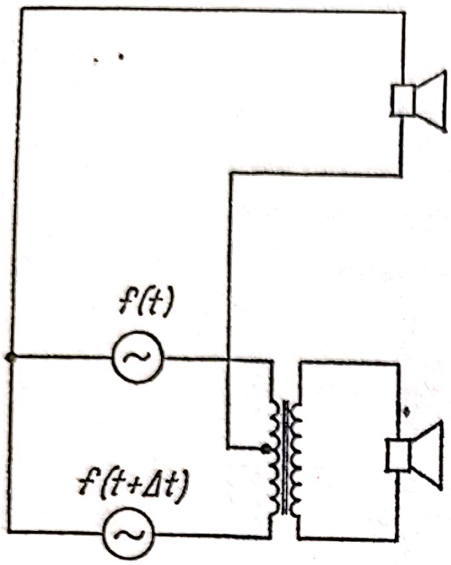


Fig. 5.24. Instalație pentru producerea pseudostereofoniei.

5.1.6. *Pseudostereofonia*

O dată cu dezvoltarea procedeelor de transmisiune stereofonică s-au elaborat și așa-numitele procedee pseudostereofonice. Termenul de pseudostereofonie a fost definit în cadrul acestui capitol la §5.1.1. Caracteristică pentru audițiile realizate prin intermediul procedeelor pseudostereofonice este imposibilitatea de a putea localiza sursa sonoră aparentă, oferindu-se totuși ascultătorului iluzia de spațiu sonor. Acesta are senzația că sunetele sosesc la el din toate direcțiile.

Unul din procedeele prin care se poate realiza pseudostereofonia este cel conceput de Lauridsen și care constă din următoarele: se consideră semnalul monofonic inițial $f(t)$, care este întîrziat cu un interval de timp Δt; la difuzoarele din încăperea în care se află ascultătorul se transmit semnalele $f(t) + f(t + \Delta t)$ și respectiv $f(t) - f(t + \Delta t)$ asigurîndu-se permanent condiția $\Delta t < 50$ ms. La fiecare ureche intensitatea sonoră va varia cu frecvența. De asemenea, vor exista și diferențe de fază. Toate acestea vor contribui la crearea senzației de spațiu pentru ascultător.

În fig. 5.24 este prezentată schema de principiu a unui dispozitiv care asigură obținerea efectelor de pseudostereofonie.

În afară de procedeul lui Lauridsen, mai există și alte procedee, ca cel al lui Scherchen care, plecînd, de asemenea, de la un semnal monofonic, îl injectează într-un ansamblu de filtre și obține în acest fel două semnale diferite pe care le aplică celor două difuzoare cu care este prevăzută instalația folosită.

5.1.7. *Transmisiuni stereofonice*

În practica transmisiunilor stereofonice, sînt rare cazurile în care ascultătorii recepționează programul sonor simultan cu captarea acestuia. În cele mai frecvente situații, sunetul este mai întîi conservat pe disc sau pe bandă de magnetofon și, numai după aceea, este reprodus sau radiodifuzat. Existența acestor verigi intermediare în lanțul de

Scanned with OKEN Scanner

transmisiuni a determinat punerea la punct a procedeelor de înregistrare-reproducere stereofonică, respectiv de radiodifuzare stereo. Este de la sine înțeles că și în aceste cazuri, condiția de compatibilitate a jucat un rol important, știut fiind faptul că orice înregistrare stereofonică trebuie să poată fi reprodusă de un aparat de redare monofonic, iar orice posesor de radioreceptor monofonic să poată recepționa și programele stereofonice.

Înregistrarea și reproducerea stereofonică de pe bandă de magnetofon. Înregistrarea stereofonică pe bandă magnetică se bazează pe aceleași principii ca și înregistrarea monofonică. Banda magnetică este, de asemenea, aceeași în ambele cazuri. Identice sînt și vitezele de translație ale benzii: 76,2 cm/s, 38,1 cm/s și 19,05 cm/s în cazul înregistrărilor cu caracter profesional și 19,05 cm/s, 9,53 cm/s și 4,76 cm/s în cazul înregistrărilor pentru amatori. Lățimea benzii magnetice de 6,25 mm, utilizată în totalitate la înregistrările monofonice, se împarte — în cazul înregistrărilor stereofonice — în mai multe zone, astfel încît să se poată înregistra pe 2 sau pe 4 piste, în funcție de necesitate. În fig. 5.25, *a* sînt indicate dimensiunile și modul de utilizare a benzilor de magnetofon cu lățimea de 6,25 mm pentru înregistrări stereofonice pe două piste.

Pentru evitarea diafoniei, fiecare pistă se limitează la o lățime de $2{,}25 \pm 0{,}1$ mm, demagnetizarea benzii făcîndu-se însă pe o lățime de $2{,}77 \pm 0{,}1$ mm, iar între cele două piste existînd o zonă de separație de 0,71 mm. O situație asemănătoare apare și în cazul înregistrărilor cu 4 piste (fig. 5.25, *b*), cu deosebirea că fiecare pistă are o lățime de 1,2 mm, la reproducere fiind utilă numai o lățime de 1 mm.

Înregistrarea și reproducerile se fac cu instalația a cărei schemă este prezentată în fig. 5.26.

Realizarea acestor funcțiuni implică folosirea unor magnetofoane prevăzute cu canale separate pentru înregistrare și pentru redare. Numai la magnetofoanele pentru amatori se utilizează același amplificator pentru ambele situații.

Reproducerea stereofonică de pe disc. În prezent, discul stereofonic se obține prin înregistrarea ambelor semnale stereofonice pe același șanț. Cele două procedee cunoscute poartă denumirea „0—90“, cînd mișcările acului lector sînt perpendiculare, respectiv paralele cu suprafața discului și „45—45“ cînd aceste mișcări se efectuează în direcții formînd un unghi de 45° cu suprafața discului (fig. 5.27).

Procedeul „0—90“ prezintă unele dezavantaje în comparație cu cel denumit „45—45“, dintre care se amintesc diferența de calitate a sem-

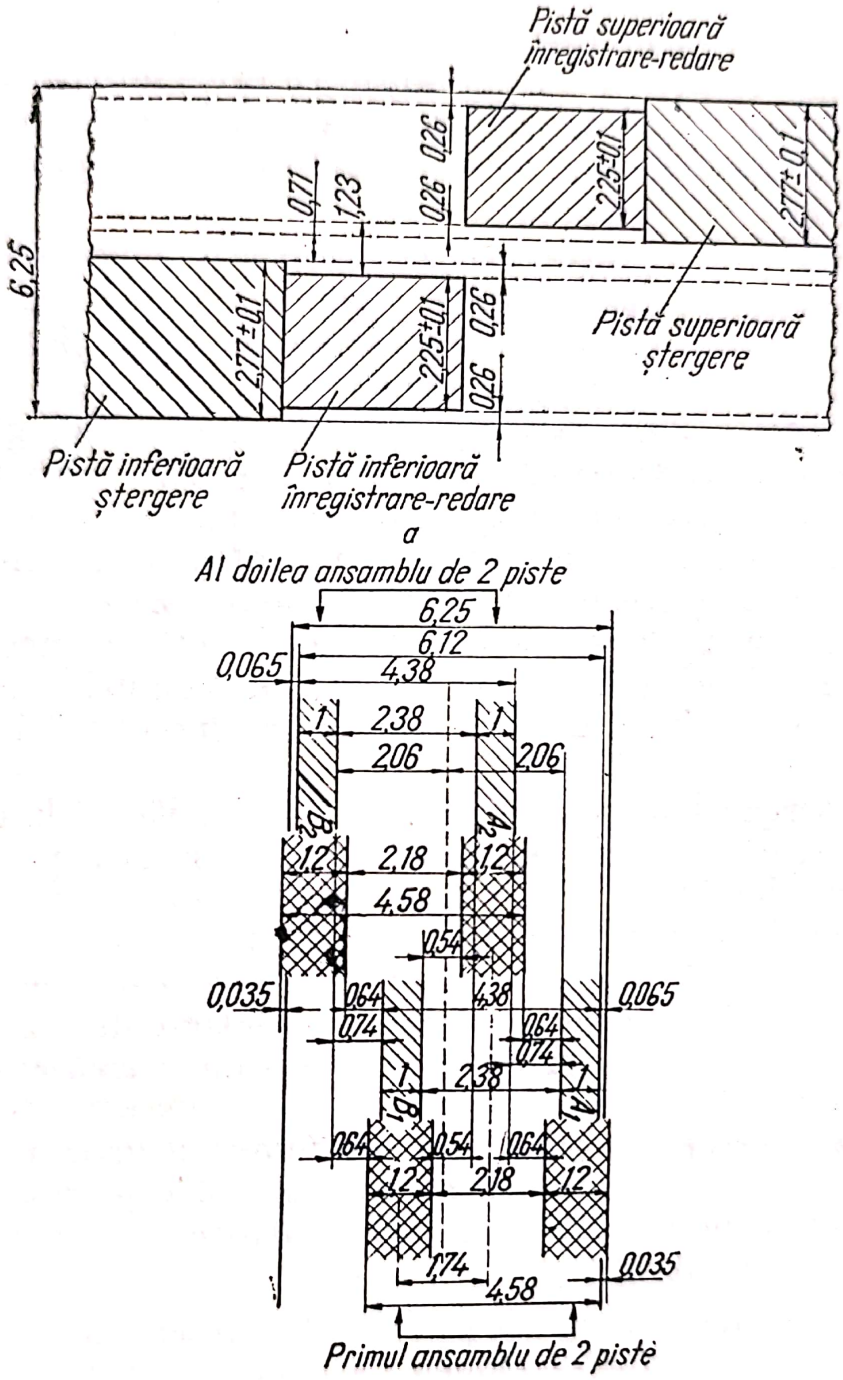


Fig. 5.25. Modul de înregistrare a benzii magnetice cu lățimea de 6,25 mm:

a — înregistrare pe 2 piste; *b* — înregistrare pe 4 piste.

Scanned with OKEN Scanner

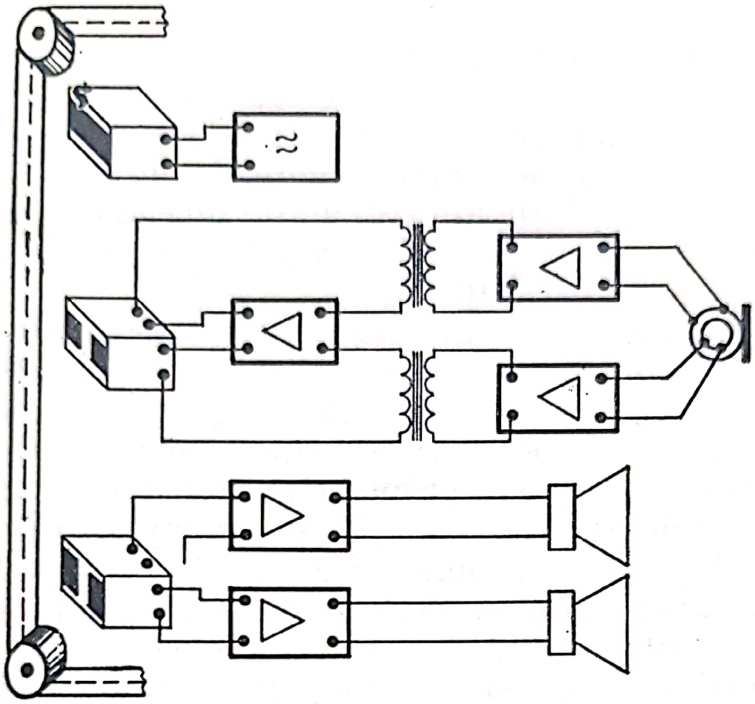


Fig. 5.26. Schema de principiu a instalației pentru înregistrări și reproduceri stereofonice.

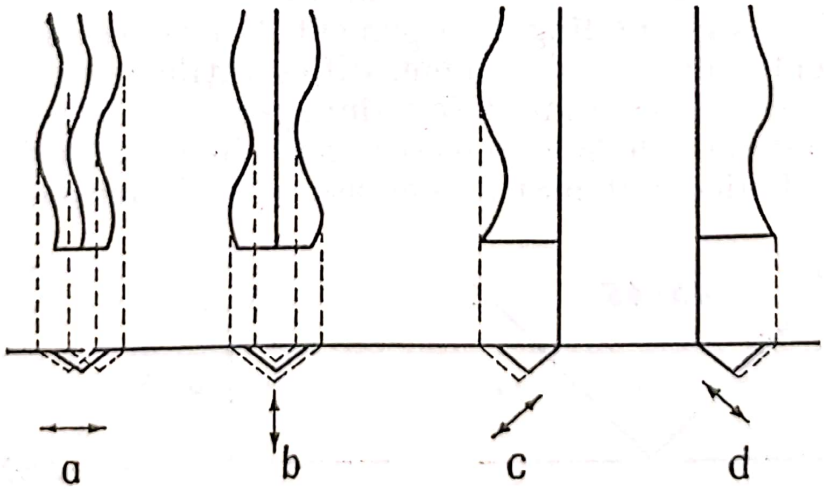


Fig. 5.27. Aspectul șanțurilor la discurile stereofonice înregistrate după metoda „0-90“ (*a*, *b*), respectiv „45—45“ (*c*, *d*).

Scanned with OKEN Scanner

nalelor înregistrate (deoarece semnalele înregistrate în adîncime, în cazul procedeului „0—90", conţin toate componentele seriei de distorsiuni armonice, pe cînd semnalul înregistrat lateral — procedeul „45—45" — are în componenţa sa numai armonicele impare) şi sensibilitatea mărită la vibraţiile verticale ale sistemului mecanolector. Din această cauză se preferă procedeul „45—45", care permite ca în plus să se asigure şi condiţia de compatibilitate.

După cum se observă în fig. 5.28, deplasările acului lector pot fi descompuse într-o componentă verticală şi una orizontală. Suma componentelor verticale furnizează un semnal proporţional cu diferenţa semnalelor stînga şi dreapta, pe cînd suma componentelor orizontale este echivalentă cu un semnal proporţional cu suma acestor semnale. Semnalul sumă îndeplineşte condiţia de compatibilitate, deoarece —după cum se ştie — în cazul unui disc monofonic uzual, înregistrarea se face lateral, traductorul pentru reproducere fiind sensibil numai la deplasările din planul orizontal ale acului lector. De aci rezultă că în timpul lecturii unui disc stereofonic, cu ajutorul unui mecanolector monofonic, se poate obţine suma semnalelor stînga şi dreapta, deci un semnal compatibil. Totuşi, este necesar să se menţioneze că această problemă prezintă un anumit grad de dificultate, reproducerea monofonică trebuind să corespundă şi din punctul de vedere al calităţii artistice. Practic, acest lucru înseamnă că, deşi se poate obţine relativ uşor suma semnalelor stereofonice, o reproducere monofonică de calitate este realizabilă numai dacă s-a avut în vedere, încă de la înregistrare, reproducerea compatibilă.

Radiodifuzarea stereofonică. Cînd în lanţul de transmisiune stereofonică se mai adaugă, pe lîngă echipamentul electroacustic, un emiţător şi un receptor de radiodifuziune, dificultăţile legate de obţinerea unei reproduceri sonore cît mai fidele sînt sporite. Condiţiile tehnice de bază pe care trebuie să le îndeplinească un echipament destinat radiodifuziunii stereofonice sînt mai numeroase şi mai complexe decît cele

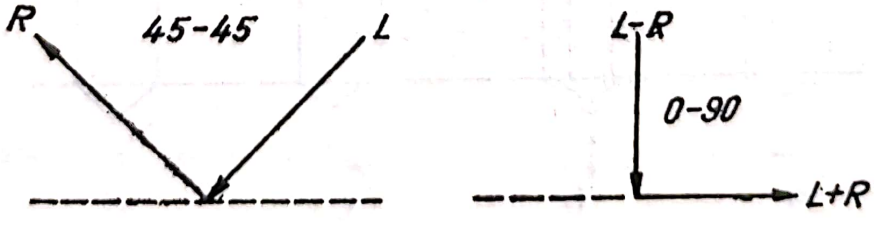


Fig. 5.28. Descompunerea deplasărilor (L, şi R) acului lector într-o componentă orizontală şi una verticală.

care se impun unui echipament similar monofonic și, în cele ce urmează, sînt arătate cîteva dintre aceste condiții.

Sistemul de radiodifuziune trebuie să fie compatibil, adică să asigure recepția monofonică a unor emisiuni stereofonice, cu receptoare monofonice, fără a se produce scăderi calitative ale programului sonor recepționat. De fapt imposibilitatea respectării condițiilor de compatibilitate a constituit principala cauză a renunțării la soluțiile inițial adoptate pentru radiodifuzarea stereofonică, prin care se preconiza utilizarea unui receptor monofonic pentru fiecare canal stereo.

Sistemul de emisie-recepție adoptat trebuie să asigure o ascultare stereofonică de calitate.

Introducerea unor posibilități de emisie stereofonică la un emițător monofonic existent nu trebuie să reducă sensibil zona de serviciu a acestui emițător pentru recepția monofonică. Zona de serviciu stereofonică a unui emițător stereofonic trebuie să fie aproximativ egală cu cea care corespunde recepției monofonice. Distribuția frecvențelor purtătoare nu trebuie să sufere modificări prin introducerea sistemelor de radiodifuziune stereofonică.

Receptoarele stereofonice trebuie să aibă un cost rezonabil în comparație cu receptoarele monofonice.

În fine, în anumite țări se mai impune și condiția suplimentară ca sistemul de radiodifuzare stereofonică să permită transmiterea simultană a două programe monofonice diferite (de exemplu comentarii în două limbi).

Radiodifuzarea cu un singur emițător, care să satisfacă toate condițiile arătate mai înainte, a impus ca necesară inițierea și apoi desfășurarea pe plan mondial a unor lucrări de cercetare. Au fost astfel elaborate și experimentate diferite sisteme, dintre care pot fi enumerate: sistemul cu modulație polară, sistemul cu frecvență subpurtătoare modulată în frecvență și cu compresie și extensie a nivelelor semnalelor corespunzătoare canalului S, sistemul cu subpurtătoare modulată în amplitudine.

Deoarece se pare că în momentul de față cel mai răspîndit sistem este cel cu subpurtătoare modulată în amplitudine, în cele ce urmează este prezentat principiul său de funcționare. Unui astfel de sistem, cunoscut de cele mai multe ori și sub denumirea de „multiplex“ îi este caracteristică utilizarea unei frecvențe subpurtătoare, a cărei valoare este superioară frecvenței acustice celei mai înalte. Funcționarea sa se bazează pe principiul modulării în amplitudine a frecvenței subpurtătoare cu unul din semnalele stereofonice (semnalul $R—L$). Celălalt

Scanned with OKEN Scanner

semnal stereofonic ($R + L$) care formează, împreună cu benzile laterale rezultate din modularea în amplitudine a frecvenței subpurtătoare, un semnal complex, modulează în frecvență purtătoarea principală.

Într-un receptor monofonic, construit după principiul modulației în frecvență, se extrage direct semnalul sumă care, după cum s-a mai arătat, este suma semnalelor stînga și dreapta [v. relațiile (5.19)]. Acest semnal poate asigura audiția monofonică de calitate.

În receptorul stereofonic, după efectuarea detecțiilor corespunzătoare se obține atît semnalul sumă cît și cel diferență. Din aceste două semnale, prin intermediul unui montaj de tipul celui arătat în fig. 5.16, se extrag semnalele dreapta (R) și stînga (L). Rezultă de aici că în procesul de emisie-recepție cele două semnale sînt supuse unor transformări asemănătoare, asigurîndu-li-se astfel o calitate tehnică identică (nu acesta ar fi fost cazul dacă, de exemplu, semnalul L ar fi modulat direct frecvența purtătoare principală, iar semnalul R numai după modularea prealabilă a frecvenței subpurtătoare).

Această tehnică a transmisiunilor unor programe sonore, prin intermediul frecvențelor subpurtătoare, este binecunoscută din telefonie, modularea putîndu-se face fie în amplitudine fie în frecvență. În cazul sistemului multiplex, care este descris în cuprinsul acestui paragraf-s-a preferat modulația de amplitudine, deoarece aceasta permite să se folosească un sistem de detecție mult mai simplu.

În fig. 5.29 este prezentat spectrul de frecvențe al unui semnal multiplex după ce s-a produs modularea în amplitudine a subpurtătoarei. Se observă că semnalul sumă ($R+L=pM$) are un domeniu de frecvențe cuprins între 50 Hz și 15 kHz. Celălalt semnal stereo-diferență — ($R-L=pS$) ocupă (după ce a modulat frecvența subpurtătoare) domeniul de frecvențe dintre 23 și 53 kHz (valoarea frecvenței subpurtătoare fiind de 38 kHz, iar domeniul de frecvențe al semnalului diferență fiind de

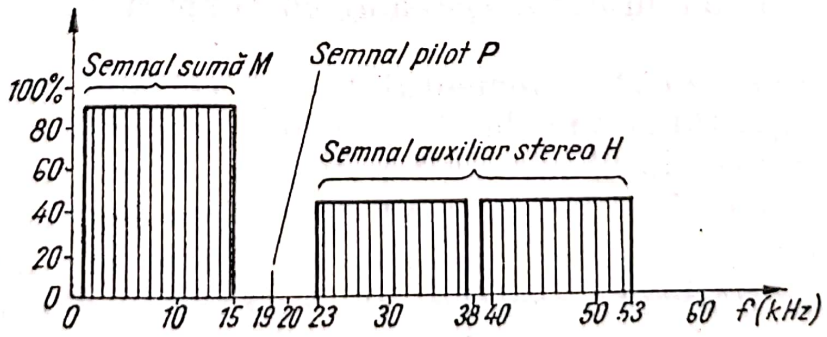


Fig. 5.29. Spectrul de frecvențe al unui semnal multiplex.

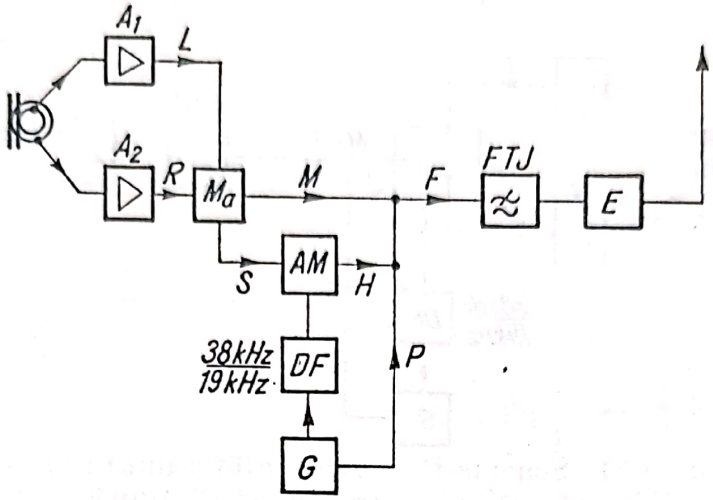


Fig. 5.30. Schema-bloc a unui radioemiţător stereofonic care lucrează după procedeul multiplex.

15 kHz rezultă valorile celor două frecvenţe limită: 38—15 = 23 kHz şi 38 + 15 = 53 kHz). Între cele două benzi de frecvenţe (23...38 kHz şi 38...53 kHz) există o zonă de separare de 100 Hz.

Frecvenţa subpurtătoare de 38 kHz se obţine de la generatorul frecvenţei pilot (19 kHz), care este racordat la un dublor de frecvenţă. Prin urmare, semnalul multiplex cu care se modulează în frecvenţă unda purtătoare principală cuprinde: semnalul sumă ($pM = R + L$), semnalul-pilot cu frecvenţa de 19 kHz, benzile laterale de frecvenţe rezultate din modularea în amplitudine a subpurtătoarei cu semnalul diferenţă ($pS = R - L$).

Schema-bloc a unui radioemiţător care lucrează după procedeul multiplex cu frecvenţă subpurtătoare modulată în amplitudine este prezentată în fig. 5.30.

Semnalele electrice furnizate de microfonul stereofonic, după ce au fost amplificate prin intermediul amplificatoarelor A_1 şi A_2, se aplică unui circuit M_a (denumit adesea şi matrice), care furnizează, pornind de la semnalele stînga şi dreapta (L şi R), semnalele sumă M şi diferenţă S. Acest ultim semnal modulează în amplitudine frecvenţa subpurtătoare rezultată din dublarea frecvenţei pilot P, (19 kHz) produsă de generatorul G. Dublorul de frecvenţă este DF. Semnalul de ieşire al modulatorului AM, denumit uneori şi semnal auxiliar stereo (H), după ce este asociat cu semnalul M şi cu cel de frecvenţa pilot P este trecut prin filtrul trece-jos FTJ. Introducerea acestui filtru este necesară, deoarece semnalul furnizat de modulatorul AM cuprinde unele

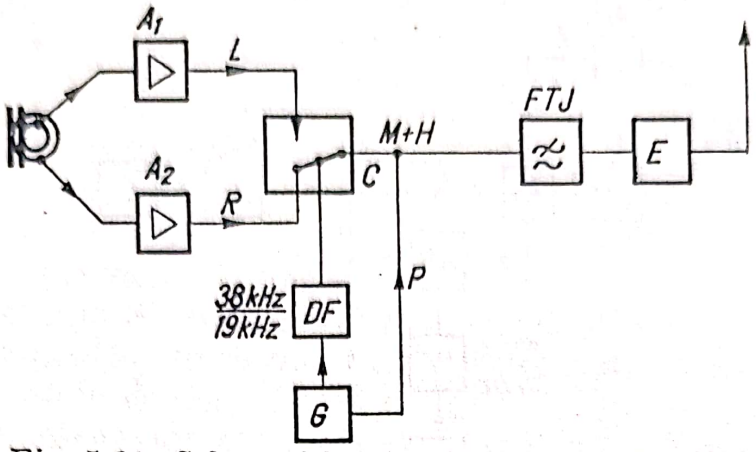


Fig. 5.31. Schema-bloc (variantă) a unui radioemiţător stereofonic care lucrează după procedeul multiplex.

armonice de frecvenţă superioară frecvenţei subpurtătoare care, desigur, nu trebuie regăsite în semnalul multiplex.

O variantă a schemei din fig. 5.30 este prezentată în fig. 5.31.

Spre deosebire de prima schemă, în schema din fig. 5.31 nu se utilizează o matrice şi un modulator de amplitudine, ci un întreruptor electronic C, reprezentat simbolic sub forma unui comutator mecanic.

Referitor la radiorecepţia stereofonică, trebuie arătat că, într-un receptor stereo, partea de radiofrecvenţă şi circuitele de frecvenţă intermediară sînt ca principiu asemănătoare cu cele ale unui receptor monofonic, normal. Unele diferenţe apar însă în etajele de detecţie ca rezultat al caracteristicilor semnalului multiplex (aşa cum s-a arătat, un semnal multiplex ocupă un domeniu de frecvenţă de 53 kHz, spre deosebire de semnalul dintr-un receptor normal, al cărui spectru de frecvenţă se limitează la maximum 15 kHz).

Semnalul de ieşire din discriminatorul de frecvenţă este, precum se ştie, un semnal multiplex. Pentru a se obţine semnalele stînga (L) şi dreapta (R), necesare punerii în valoare a fenomenului stereofonic, se introduc în lanţul de radiorecepţie unele circuite speciale, cunoscute sub denumirea de „decodificatoare“ sau de „adaptoare“.

În principiu, un decodificator are o schemă ca cea din fig. 5.32, care permite extragerea semnalului sumă M, a semnalului auxiliar stereo H şi a celui de frecvenţă pilot P. Acesta din urmă este aplicat dublorului de frecvenţă DF, prin intermediul căruia se furnizează frecvenţa subpurtătoare. La intrarea detectorului de amplitudine DA se aplică semnalele H şi frecvenţa subpurtătoare, obţinîndu-se în acest fel semnalul

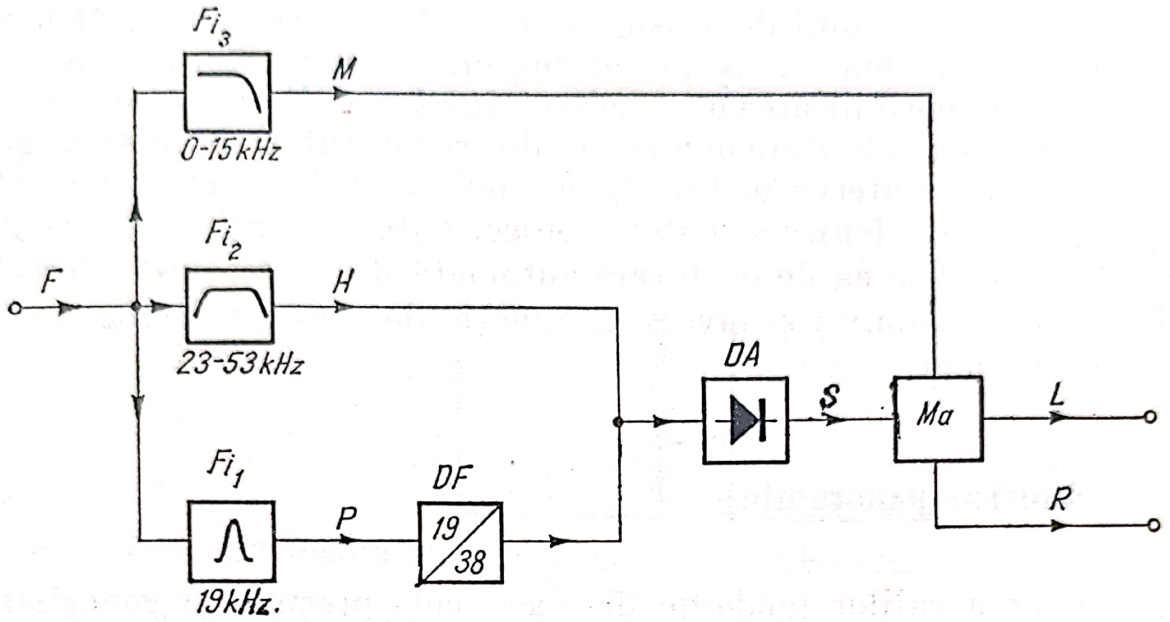


Fig. 5.32. Schema-bloc a unui decodificator utilizat într-un radioreceptor stereofonic.

diferență S. Un circuit matrice Ma, ca cel din fig. 5.16, asigură transmiterea la cele două difuzoare a semnalelor stînga (L) și dreapta (R).

După etajele discriminatoare de frecvență și ale decodificatorului (adaptorului) urmează etajele de amplificare, distincte, pentru fiecare canal stereo în parte.

Sînt necesare cîteva precizări referitoare la circuitele decodificatorului, deoarece ele condiționează o reproducere stereofonică de calitate. Astfel, ca și radioreceptorul și etajele amplificatorului de putere, decodificatorul nu trebuie să producă mărirea coeficientului de distorsiuni neliniare. Introducerea decodificatorului se va face astfel, încît atenuarea de diafonie între canalele stereo să-și păstreze valoarea optimă sau, cu alte cuvinte, semnalul stînga să rămînă complet separat de semnalul dreapta.

După introducerea circuitelor specifice radiorecepției stereofonice, sensibilitatea radioreceptorului, la toate formele de perturbații, trebuie să fie cît mai mică posibil.

În afara acestor condiții principale, care determină, în cea mai mare măsură, calitatea audiției stereofonice, mai pot fi amintite și alte condiții secundare pe care trebuie să le îndeplinească un radioreceptor ste-

reofonic și care au rolul de a asigura unele facilități în recepționarea programelor stereofonice. Așa, de exemplu, radioreceptorul trebuie să fie prevăzut cu posibilitatea de a indica vizual că radioemițătorul recepționat emite semnale stereofonice. Radioreceptorul trebuie să asigure menținerea unor puteri sensibile egale, indiferent de natura semnalelor recepționate: monofonice sau stereofonice. Este necesar, de asemenea, să existe posibilitatea de comutare automată de pe recepția stereofonică pe cea monofonică și invers, în funcție de specificul programului sonor recepționat.

5.2. Sunetul panoramic

Sonorizarea sălilor moderne de spectacol, precum și sonorizarea unor spații, cum ar fi cele destinate expozițiilor, este condiționată de necesitatea prevederii unor sisteme capabile să producă diferite efecte sonore, cu scopul de a da spectatorului senzația unei desfășurări a spectacolului cît mai apropiată de realitate, iar vizitatorului expoziției posibilitatea de a percepe efecte sonore cît mai interesante și atractive. În această categorie de efecte se înscrie și sunetul panoramic. Acesta, deși nu reprezintă un procedeu de reproducere stereofonic, permite, într-o oarecare măsură, crearea unei impresii de spațiu pentru ascultători. Prin realizarea sa se urmărește — în cazul unui teatru — deplasarea imaginii sonore nu numai în interiorul perimetrului scenei, ci și în cel al sălii, dînd astfel spectatorului impresia că participă efectiv la acțiunea spectacolului.

În principiu, soluția pentru obținerea sunetului panoramic trebuie să satisfacă două importante deziderate, și anume:

— să permită reproducerea de bună calitate a sunetului, prin utilizarea unor lanțuri electroacustice alcătuite din componente cu caracteristici tehnice superioare și cu o mare fiabilitate;

— echipamentul respectiv să fie astfel conceput, încît să se poată adapta cu ușurință realizării celor mai diferite efecte sonore.

Un echipament destinat producerii sunetului panoramic este alcătuit, în general, din următoarele părți componente:

— dispozitivul necesar producerii deplasării progresive a sursei sonore;

Scanned with OKEN Scanner

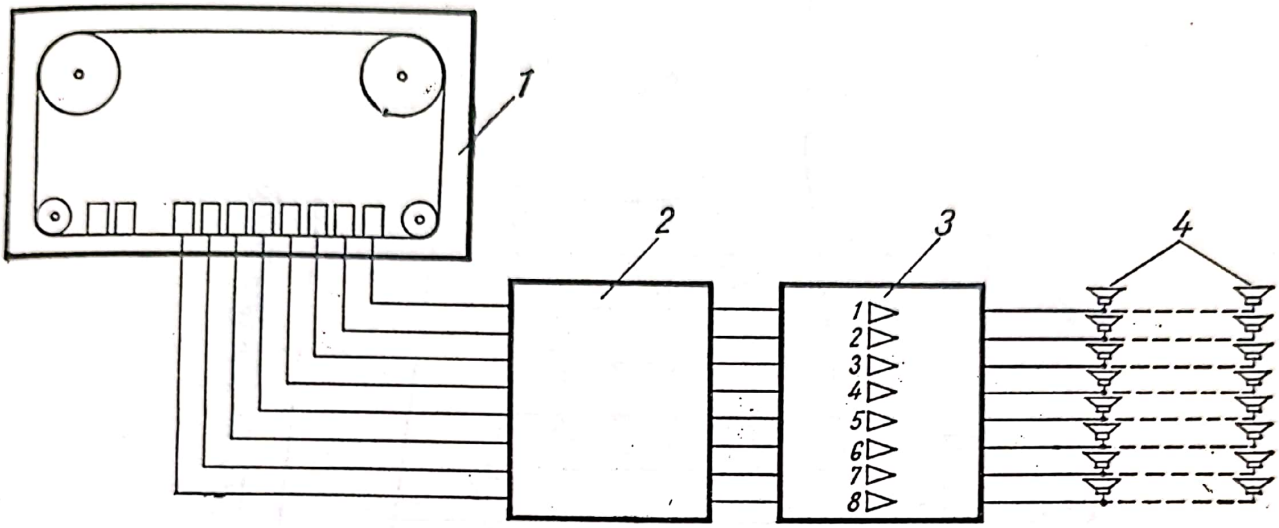


Fig. 5.33. Instalație pentru producerea sunetului panoramic, utilizînd un dispozitiv magnetic:
1 — dispozitiv magnetic; *2* — centrală comutare; *3* — amplificatoare de putere; *4* — difuzoare.

— centrala sau dispozitivul destinat comutărilor de circuite, capabil să asigure conectarea într-o multitudine de variante a amplificatoarelor de putere și, în consecință, și a difuzoarelor;

— amplificatoarele de putere;

— difuzoarele sau, după caz, casetele cu difuzoare.

Dispozitivul pentru producerea deplasării progresive a sursei sonore aparente poate fi realizat în mai multe variante constructive. Una din aceste variante (fig. 5.33) cuprinde un dispozitiv de întîrziere a sunetului bazat pe principiul înregistrării magnetice și prevăzut cu o buclă de bandă magnetică ce poate fi antrenată cu viteză variabilă și reglabilă. Semnalul electric aplicat acestui dispozitiv este înregistrat pe bandă, reprodus de primul magnetlector și apoi, cu întîrzieri crescînde ca valoare, de celelalte magnetlectoare.

Prin intermediul unei centrale de interconectare, circuitele difuzoarelor pot fi conectate la dispozitivul de întîrziere într-o mare varietate de combinații, astfel încît deplasarea sursei de sunet aparente să se poată face în toate direcțiile și sensurile dorite. Sînt astfel posibile următoarele moduri de deplasare a imaginii sonore: de la scenă spre fundul sălii și în sens invers, precum și pe toată periferia sălii în sensul mișcării acelor unui ceasornic și în sens invers etc. (fig. 5.34).

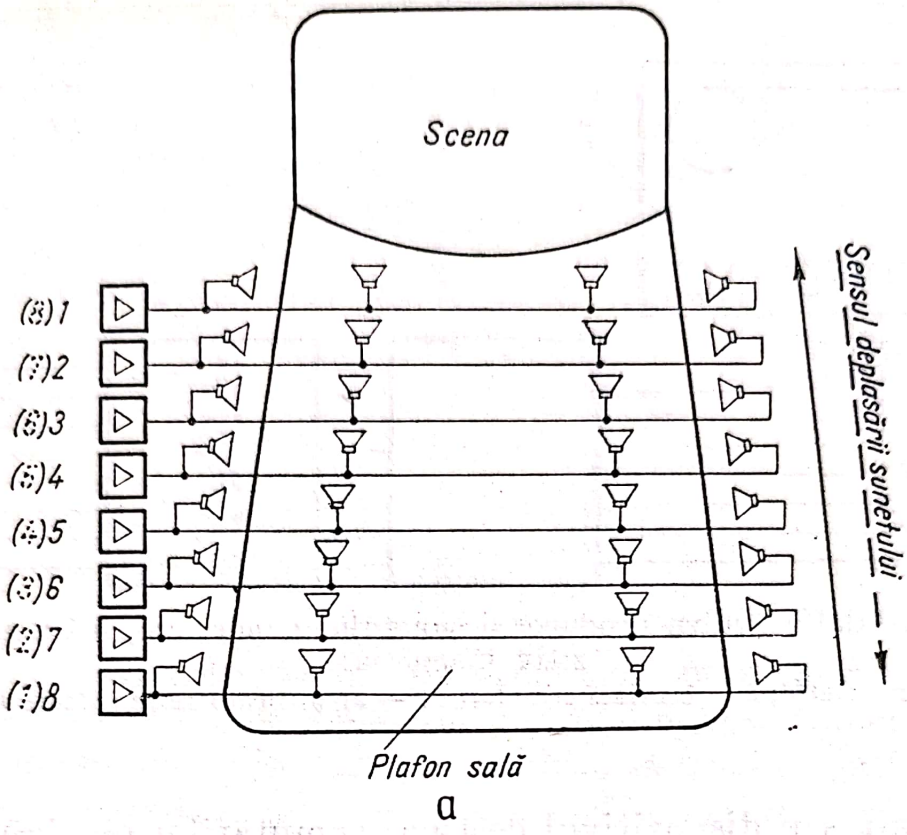


Fig. 5.34. Posibilităţi de deplasare a sursei de sunet imaginare:

a — deplasarea imaginii sonore de la scenă spre fundul sălii; *b* — deplasarea imaginii sonore în sensul acelor de ceasornic şi în sens invers.

Scanned with OKEN Scanner

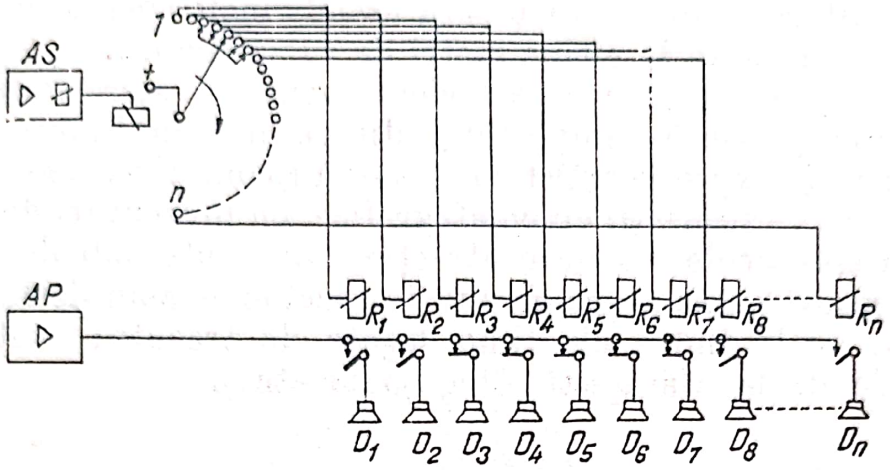


Fig. 5.35. Schema de principiu a unui dispozitiv cu relee, pentru producerea sunetului panoramic.

Într-o altă variantă constructivă (fig. 5.35) se utilizează un amplificator selectiv AS, pentru comanda circuitelor cu difuzoare. Comenzile pentru acționarea părții din instalație care este utilizată în spectacol sînt înregistrate pe banda magnetică sub forma unor impulsuri. În cazul în care sînt necesare mai multe programe, se vor utiliza echipamente aparte și comenzi separate pentru fiecare program, extragerea frecvenței necesare acționării echipamentului de comutare a circuitelor fiind posibilă numai prin intermediul amplificatorului AS. Se menționează că raportul între frecvențele necesare acționării dispozitivului trebuie să fie de cel puțin 1,25/1. Ieșirea amplificatorului AS este conectată la un selector S care, la rîndul său, acționează releele R_1—R_n ale căror contacte conectează sau deconectează grupurile de difuzoare D_1—D_n.

Difuzorul reprezintă elementul final al lanțului electroacustic ce intră în componența echipamentului pentru producerea sunetului panoramic. Amplasarea difuzoarelor în sală se face astfel, încît trecerea de la un difuzor la altul să se producă fără întreruperi și fără variații bruște de nivel de presiune acustică, evitîndu-se în acest fel apariția unor senzații auditive neplăcute pentru ascultător. Acesta este de altfel motivul pentru care în instalațiile prezentate în fig. 5.35 deplasarea progresivă a sursei sonore aparente se realizează nu prin conectarea și deconectarea cîte unui singur difuzor, ci prin păstrarea în funcțiune a unor grupe de 5 difuzoare (difuzoarele D_3, D_4, D_5, D_6, și D_7). În acest fel, variația de presiune acustică în timpul tranziției imaginii sonore rămîne imperceptibilă. Pentru realizarea aceluiași deziderat, o altă condiție o constituie așezarea difuzoarelor la distanțe de cel mult 3 m.

Puterea difuzoarelor se calculează astfel, încît spectatorul să aibă impresia că se găsește la cîțiva metri de sursa sonoră.

Efectele sonore obținute pe cale electroacustică, stereofonia și sunetul panoramic, prezintă o importanță din ce în ce mai mare, ele devenind mijloace de expresie artistică cu largă răspîndire. Asociate cu jocuri de lumini, cu proiecții cinematografice, cu prezentări de texte, ele pot alcătui spectacole de mare atracție, cunoscute sub denumirea de „sunet și lumină". Asemenea genuri de spectacole s-au desfășurat și la noi în țară, unele dintre ele fiind legate de trecutul nostru istoric (spectacolele de la Mărășești, Mogoșoaia etc.).

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 6

Instalarea echipamentelor electroacustice pentru sonorizare

6.1. Încăperi în care se instalează echipamentele electroacustice destinate sonorizărilor

Oricărei instalații de sonorizare îi sînt afectate încăperi de construcție specială, cum ar fi: încăperea de regie tehnică, încăperea destinată aparatajului necesar amplificării de putere, încăperi pentru instalații auxiliare și, după caz, unul sau mai multe studiouri pentru comentator.

Încăperea de regie tehnică. Această încăpere amplasată astfel, încît să asigure vizibilitatea optimă a scenei (fig. 6.1), a terenului de sport sau a tribunei conferențiarului, cuprinde, în majoritatea cazurilor, echipamentul de bază al instalației electroacustice, format din: pupitrul de regie tehnică, magnetofoane, disclectoare, centrale pentru interconectare etc.

Potrivit recomandărilor internaționale (Recomandarea O.I.R.T.[1] nr. 22-II, Document TK-II-90) volumul unei astfel de încăperi trebuie să fie de 120 ± 30 m³. Abaterile negative sînt admise în tehnica monofonică, iar cele pozitive sînt indicate pentru tehnica stereofonică.

Între dimensiunile încăperii se recomandă să existe următorul raport:

— pentru tehnica monofonică, raportul dintre lățime și lungime:

$$\frac{1}{1{,}05} \cdots \frac{1}{1{,}50};$$

— pentru tehnica stereofonică, raportul între înălțime, lățime și lungime: 2 : 3 : 5;

[1] Organizația internațională de radio și televiziune.

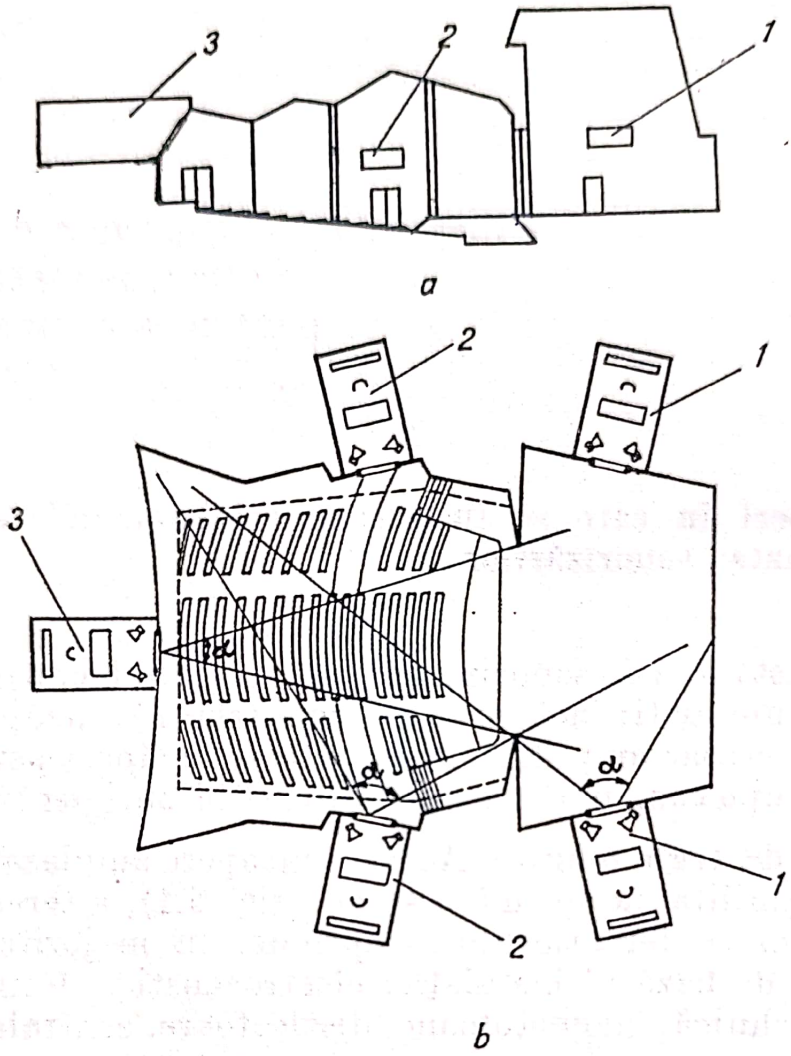


Fig. 6.1. Amplasamentul față de sala de spectacol și de scenă a grupului — încăpere de regie tehnică — studio de comentator — pentru o instalație de sonorizare:

a — secțiunea transversală; *b* — secțiunea orizontală; grup de încăperi tehnice amplasat pe scenă (*1*) — pe părțile laterale ale sălii (*2*) — pe partea opusă scenei (*3*); α — unghiul de vizibilitate spre scenă și sală.

— cînd se admit pentru încăpere volume de 60 m³, dimensiunile pot fi: înălțimea: 3 m, lățimea: 4 m, lungimea: 5 m.

Forma camerei de regie tehnică este în general paralelipipedică.

O astfel de încăpere trebuie să îndeplinească anumite condiții de izolare acustică, de durată de reverberație și de difuzitate a cîmpului acustic în încăpere.

Asigurarea unei bune izolări fonice este posibilă prin luarea unor măsuri constructive încă din faza de proiectare și printr-o execuție foarte îngrijită. Astfel, grosimile zidurilor vor fi determinate în funcție de valoarea nivelului zgomotului înconjurător existent (valorile atenuării realizate cu unele ecrane acustice sînt date în tabelul 6.1) și de valoarea nivelului maxim perturbator admisibil în interiorul încăperii tehnice. Această valoare nu poate depăși 23 dB și trebuie să se înscrie în prevederile recomandărilor nr. 30-II ale O.I.R.T., documentul TK-II-250 (fig. 6.2), ale recomandărilor ISO/TC 43 (Secretariat 139) 235, august 1961 și trebuie să fie în concordanță cu valorile din curbele criteriului de zgomot [1]): NC15 sau NR-15; în anumite condiții se admite și curba NC20. În același scop ușile de acces ale încăperii și ferestrele spre sală vor fi de construcție specială. Un detaliu constructiv pentru aceste elemente este arătat în fig. 6.3.

De asemenea, va fi prevăzut un tampon de liniște prin intermediul căruia va fi posibil accesul în aceste încăperi.

Măsuri speciale se vor lua și pentru micșorarea efectului trepidațiilor; valoarea acestora nu trebuie să depășească un nivel de tărie al vibrațiilor de 5 pali (sau, la frecvența de referință de 1 Hz, un nivel de intensitate a vibrațiilor de 5 vibrari).

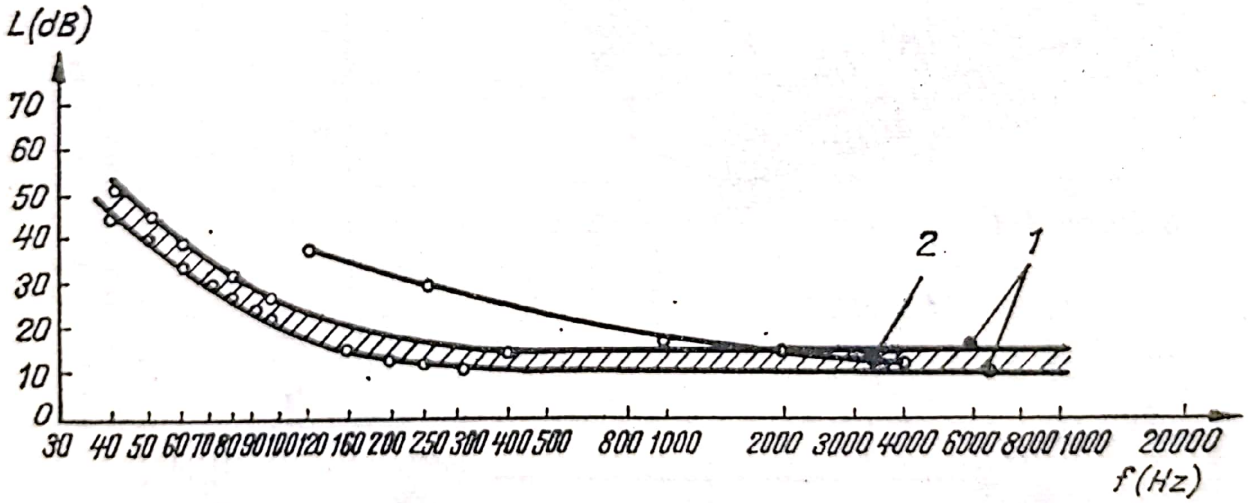
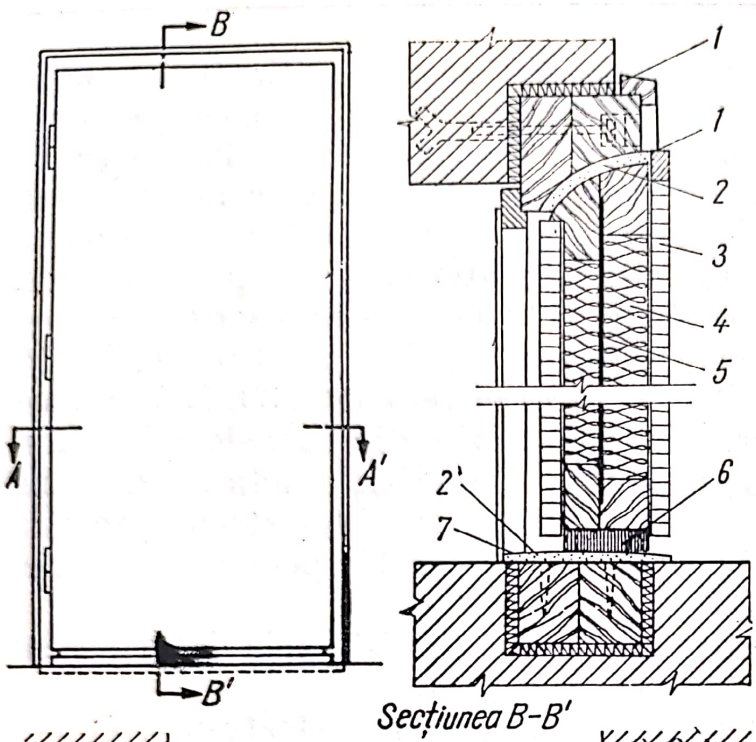
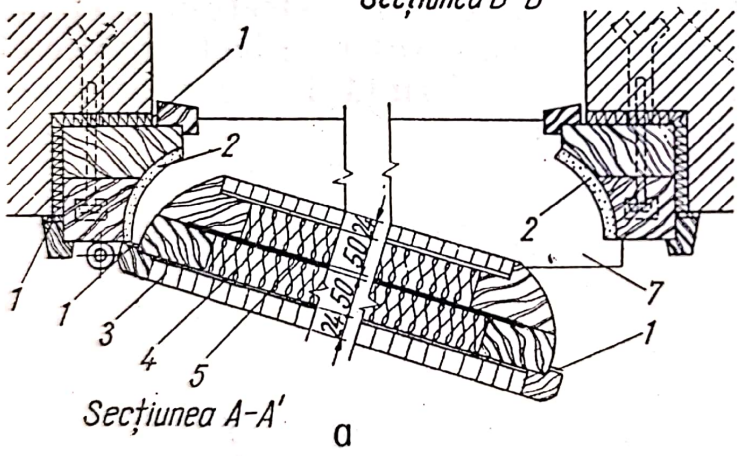


Fig. 6.2. Nivelul de zgomot perturbator maxim admisibil în încăperile de regie tehnică și ascultări:

1 — curbele limită recomandate de O.I.R.T.; *2* — curba criteriului de zgomot NC-15.

[1]) Familia curbelor criteriului de zgomot a fost recomandată pentru prima dată de acusticianul L.L. Beranek în cartea sa „NOISE REDUCTION" McGraw Hill Book Co, New-York, 1960, p. 518—523.





a

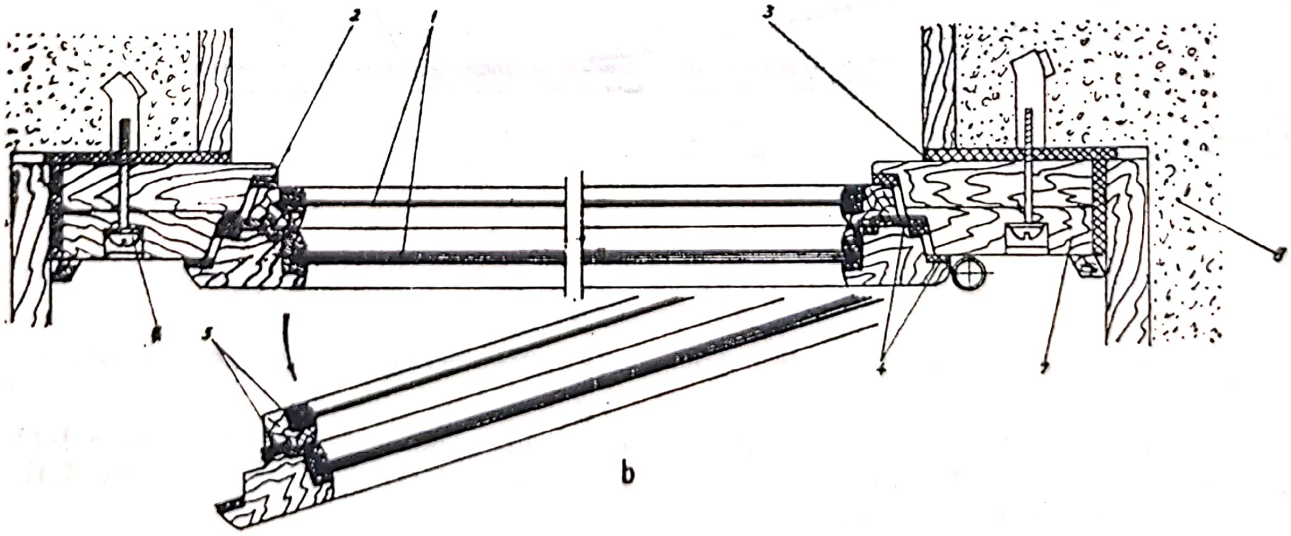


Fig. 6.3. Detalii constructive:

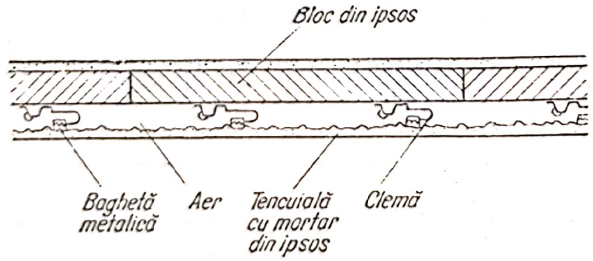
a — ușă de construcție specială; *1* — garnitură din pîslă sau filț; *2* — garnitură din cauciuc buretos; *3* — placă panel; *4* — vată minerală cu densitatea de 140 kg/m³; *5* — tablă de oțel OL 38; *6* — perie; *7* — acoperitor de prag din tablă de alamă; *b* — fereastră vizoare cu indice de reducere sonoră mare (35 ± 2 dB) care se poate și deschide: *1* — geamuri cu grosimile de 16 și 18 mm; *2* — cauciuc moale buretos sau poliuretan; *3* — pîslă din fir de păr; *4* — filț; *5* — baghete de lemn; *6* — bulon de fixare; *7* — tocul ferestrei vizoare; *8* — peretele încăperii.

Scanned with OKEN Scanner

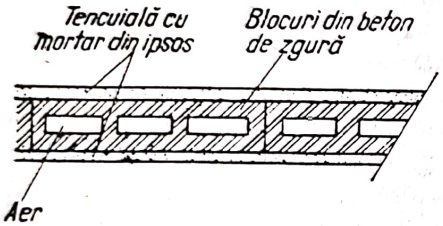
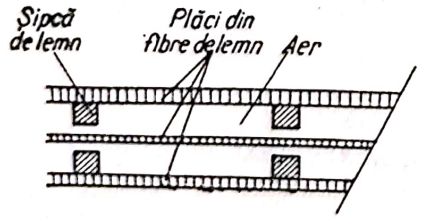
Tabelul 6.1

Indicele de reducere sonoră în funcție de frecvență a unor structuri uzuale, pentru cîteva ecrane utilizate la pereții laterali ai încăperilor

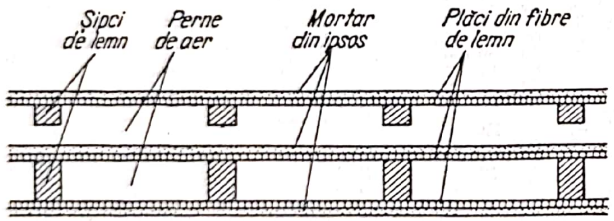
Structura Nr.	Structura utilizată pentru ecran	Grosimea cm	Greutatea kg/cm²	Atenuarea medie în banda 125--4 000 Hz dB	Atenuarea pentru fiecare frecvență din spectru dB								
					125	175	250	350	500	700	1 000	2 000	4 000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Blocuri cu dimensiunile 8 cm × × 30 cm, din ipsos cu goluri în interior. Pe o față a blocului se aplică un strat de tencuială cu mortar de ipsos cu nisip cu grosimea de 1,25 cm; pe cealaltă față se aplică cleme de fixare elastică, distanțate cu aproximativ 45 cm una de alta pe orizontală și aproximativ 40 cm pe verticală. Clemele sînt fixate de o structură metalică cu grosimea de aproximativ 2 cm care conține niște baghete metalice distanțate din 40 în 40 cm, constituind un suport pentru un strat de tencuială cu mortar de ipsos cu nisip, a cărui grosime este de aproximativ 2 cm	Depinde de felul așezări blocurilor	134	46	38	40	37	40	44	48	51	56	59



(*Tabela 6.1* continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	Blocuri din beton de zgură, cu goluri. Blocurile au dimensiunile aproximative 10 cm × 21 cm × × 41 cm; pe ambele fețe ale fiecărui bloc s-a aplicat un strat de tencuială din ipsos cu grosimea de aproximativ 1,6 cm 	13,50	176	46	36	37	37	41	44	47	51	55	62
3	Blocuri din beton, cu goluri. Blocurile au dimensiunile 21 cm × 21 cm × 30 cm și 10 cm × 21 cm × 41 cm.	31	390	49	47	49	43	43	46	50	53	54	56
4	Plăci din fibre de lemn, cu grosimea aproximativă de 19 mm, avînd la suprafață șipci de 5 cm × 5 cm, la distanța de 40 cm; pe partea interioară la distanța de aproximativ 5 cm de șipci se găsește o placă fibroasă, cu grosimea de aproximativ 19 mm, dispusă liber între șipci. 	17,80	31	43	28	29	28	39	40	43	48	62	68

25*	5	Structură din plăci dense de fibre de lemn, avînd pe ambele fețe șipci de lemn distanțate cu aproximativ 40 cm între ele, cu etanșeizare la rosturile dintre plăci. Există un strat gros de 1,25 cm din tencuială de ipsos aplicat pe fețele exterioare ale plăcilor fibrolemnoase cu grosimea de 12,5 mm. De asemenea, se mai găsește un perete auxiliar care pe o parte constă dintr-un strat de tencuială cu grosimea de 1,25 cm aplicat pe o placă fibrolemnoasă groasă de 1,25 cm rigidizată cu șipci de lemn de 5 cm × 5 cm, distanțate între ele cu aproximativ 40 cm.	25,4	90	51	41	46	44	49	50	51	52	56	72



Dimensionarea tratamentului acustic al încăperii se va face potrivit recomandărilor amintite, care precizează că între 80 și 10 000 Hz durata de reverberație trebuie să fie independentă de frecvență și cuprinsă între 0,4 și 0,5 s. Se admite o reducere a duratei de reverberație pînă la 0,3 s la frecvența de 15 000 Hz.

În cazul proiectării încăperilor destinate ascultărilor stereofonice, repartiția tratamentului acustic trebuie să prezinte o simetrie față de mediana liniei de bază pe care stau amplasate difuzoarele.

Anumite condiții se impun și parametrilor climatici care trebuie să fie realizați. Astfel, temperatura interioară a încăperii se admite să varieze între 21 și 24°C, schimbul de aer pe persoană, în decurs de o oră, se prevede să fie de 20—30 m³, iar umiditatea relativă se acceptă să varieze între 55 și 60%.

Încăperea destinată amplificatoarelor de putere. Pentru instalațiile electroacustice complexe, destinate sonorizării unor spații mari, care necesită deci un număr mare de amplificatoare de putere, se prevede, în afară de încăperea de regie tehnică, o altă cameră destinată acestor amplificatoare. Forma încăperii va fi, de asemenea, paralelipipedică, iar dimensiunile vor fi de minimum 4 m × 4 m × 3 m. Ea va fi amplasată fie adiacent încăperii de regie tehnică, fie în apropierea acesteia. O atenție deosebită se va acorda condițiilor climatice din această încăpere, căutîndu-se ca valoarea temperaturii să fie de aproximativ 22°C, iar umiditatea de aproximativ 55%; schimburile de aer trebuie să fie de 6—8 m³ în decurs de o oră.

Studioul pentru comentator. Unele din instalațiile de sonorizare, cum ar fi, de exemplu, cele destinate expozițiilor , gărilor, aerogărilor etc. mai sînt prevăzute după caz cu unul sau mai multe studiouri pentru comentator.

Conform normelor, volumul unei astfel de încăperi trebuie să fie de aproximativ 90 m³, dar în practică, din motive economice, el este, în general, cuprins între 40 și 60 m³, raportul între lățime și lungime fiind de $\frac{1}{1,05} - \frac{1}{1,5}$.

Pentru această încăpere vor fi asigurate de asemenea condiții de izolare acustică perfecte.

Tratamentul acustic se va dimensiona astfel, încît durata de reverberație a încăperii să se înscrie în limitele 0,4 ± 0,1 s în gama de frecvențe cuprinsă între 160 și 10 000 Hz.

Încăperile pentru instalațiile auxiliare. În afara încăperilor pentru regie tehnică, pentru comentator și pentru amplificatoarele de putere

Scanned with OKEN Scanner

se mai prevăd, pentru instalații de sonorizare de proporții mari, încăperi anexe destinate instalațiilor de alimentare cu curent continuu, precum și încăperi destinate pentru laboratoare de întreținere, depanare și măsurări.

Încăperea pentru instalația electrică de curent continuu va fi realizată potrivit normelor în vigoare (Normativul pentru proiectarea, executarea și recepționarea lucrărilor de instalații electrice cu tensiuni pînă la 1 000 V, la construcții civile și industriale, indicativ I.7.62 și Normativul pentru proiectarea și executarea construcțiilor din punctul de vedere al prevenirii incendiilor NPCI 1964).

6.2. Indicații generale privind instalarea echipametelor electroacustice pentru sonorizare

În cadrul lucrărilor de proiectare și montaj ale unei instalații de sonorizare se va acorda o atenție deosebită amplasării echipamentului electroacustic în încăpere. Așezarea aparatajului în încăpere va fi astfel făcută, încît să permită atît manipularea cu ușurință a agregatelor din încăpere (pupitru de regie, disclectoare, magnetofoane), cît și supravegherea și controlarea lesnicioasă a întregului echipament din încăpere, să fie posibilă intervenția rapidă la orice subansamblu defect și să se asigure un control auditiv de calitate. Pentru a exemplifica acest mod de amplasare, în fig. 6.4 este prezentat planul încăperii de regie tehnică situată în incinta unui pavilion de expoziție. Se observă că pupitrul de regie (mixaj) care, în majoritatea cazurilor, se înscrie în dimensiunile de 1,6 m × 0,8 m × 0,9 m este amplasat în axul încăperii. Cele două casete cu difuzoare (în cazul de față este vorba de controlul auditiv al unui program stereofonic), avînd dimensiunile 0,8 m × 0,4 m × 1,2 m, sînt așezate împreună cu pupitrul de regie tehnică astfel, încît să formeze un triunghi echilateral cu latura de aproximativ 3,5 m.

Ramele care cuprind dispozitivele pentru întîrzierea sunetului, redresoarele, amplificatoarele pentru controlul auditiv și vizual, centralele pentru interconectare și panoul pentru alimentare cu energie electrică a echipamentului pot fi amplasate în fața pupitrului de regie, supravegherea lor fiind făcute de către operatorul de la pupitru.

M ıgnetofoanele și disclectorul dispuse în partea stîngă a pupitrului de regie tehnică pot fi puse în funcțiune și controlate de către același operator.

Scanned with OKEN Scanner

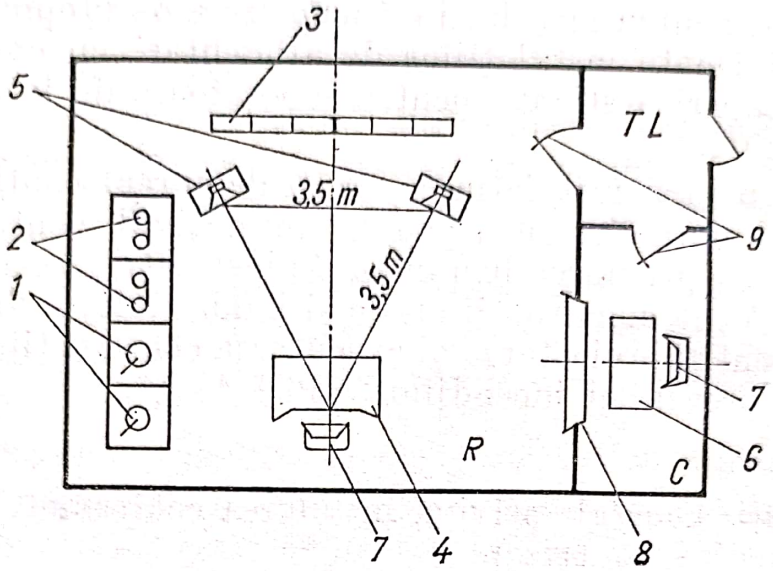


Fig. 6.4. Grup tehnic situat în incinta unui pavilion de expoziț:e:

R — încăpere de regie tehnică; *C* — încăpere pentru crainic; *TL* — tampon de liniște; *1* — agregate disclector; *2* — agregate magnetofon; *3* — rame cu aparataj; *4* — pupitru de regie tehnică; *5* — casete cu difuzoare; *6* — masa pentru crainic; *7* — scaun; *8* — fereastră vizoare; *9* — uși.

6.2.1. *Categorii de lucrări de montaj pentru instalațiile electroacustice în încăperile tehnice și în spațiul sonorizat*

Categoriile de lucrări de montaj ce se execută în încăperile aferente unor instalații de sonorizare sînt următoarele:

— executarea canalelor și pozarea tuburilor protectoare pentru cablurile de audiofrecvență, de semnalizare și de alimentare cu energie electrică:

— pozarea cablurilor în canale și în tuburi protectoare;

— montarea echipamentului și interconectarea între diferitele subansambluri ale acestuia;

— măsurări și reglaje.

Executarea canalelor și pozarea tuburilor protectoare pentru cablurile de audiofrecvență, de semnalizare și pentru alimentare cu energie electrică. În majoritatea cazurilor, în încăperile de regie tehnică se adoptă soluția de pozare a cablurilor în canale și nu în tuburi. În acest fel rezultă avantaje la montarea, extinderea și modificarea cablajului, precum și la vizitarea fiecărui traseu de cabluri. Soluțiile constructive adoptate

pentru aceste canale sînt multiple, în cele ce urmează fiind prezentate trei dintre ele, care au fost aplicate la cele mai multe instalații de sonorizare din țara noastră.

1) Canalul pentru cabluri de la baza tratamentului acustic folosește o plintă demontabilă. Un astfel de canal este prezentat în fig. 6.5, *a* și are secțiunea de formă dreptunghiulară cu dimensiunile aproximative de 8 cm × 20 cm.

Canalul este prevăzut pe tot traseul său cu console, astfel încît este posibilă separarea cablurilor de audiofrecvență de cele pentru instalația de semnalizare optică.

2) Canalul în pardoseală, prezentat în fig. 6.5, *b* are forma dreptunghiulară și dimensiunile medii de 12 cm × 20 cm. Este prevăzut cu capac demontabil pe tot parcursul său.

3) Canalul pentru cabluri realizat în pardoseală dublă este prezentat în fig. 6.5, *c*. În cazul sonorizării unor spații cu dimensiuni foarte mari, ale căror instalații de sonorizare necesită rețele de cabluri deosebit de voluminoase și de întinse, s-a considerat mai economică soluția de a realiza pardoseli duble, creîndu-se astfel un spațiu în care pe lîngă cabluri se mai pot monta și canalele instalațiilor de ventilație. S-a dovedit util ca un astfel de spațiu să aibă înălțimea de aproximativ 1,50 m, asigurîndu-se în acest fel circulația personalului de montaj și de întreținere. Adoptarea unei astfel de soluții presupune luarea măsurilor necesare pentru protecție împotriva incendiilor, pentru eventuala evacuare a aerului viciat și asigurarea condițiilor pentru iluminat.

În încăperile în care se produc concentrări de circuite sau apare necesitatea distribuirii acestora, vor fi practicate cofrete în care se vor monta elemente de construcție specială, cum sînt regletele sau prizele multicontact (fig. 6.6).

Este necesar ca amplasarea cofretelor să se facă în locuri ușor accesibile, lipsite de umiditate și luminate corespunzător. În cazul în care cofretul conține capace rabatabile, amplasarea se va face în așa fel, încît să permită deschiderea suficientă a acestuia în scopul facilitării operațiilor de montaj. Pentru asigurarea unor intervenții și depanări rapide, pe fiecare cofret va fi marcat indicativul din proiect și se va atașa schema de conexiuni. În același scop se vor numerota regletele și prizele multicontact din interiorul său.

Scanned with OKEN Scanner

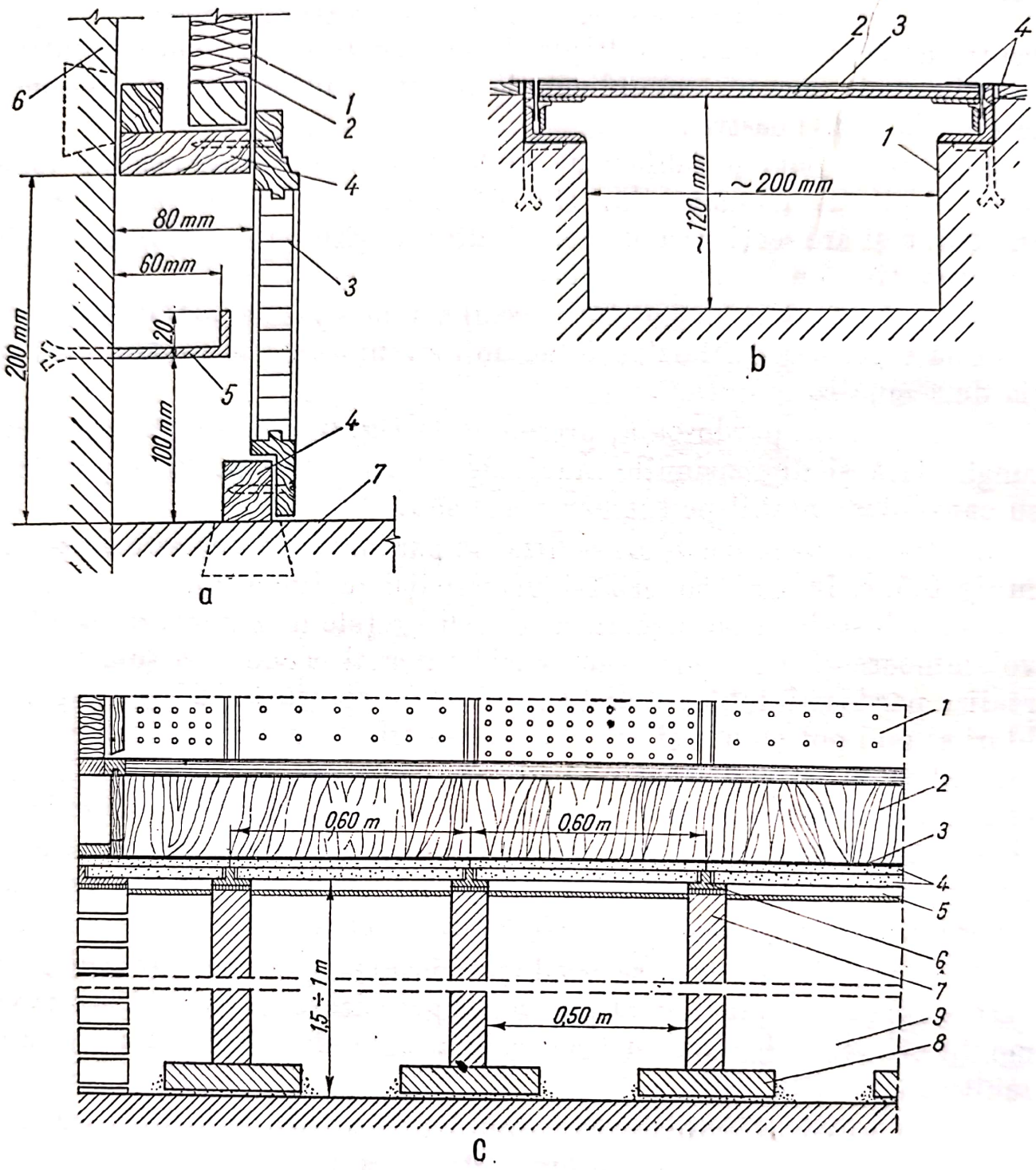
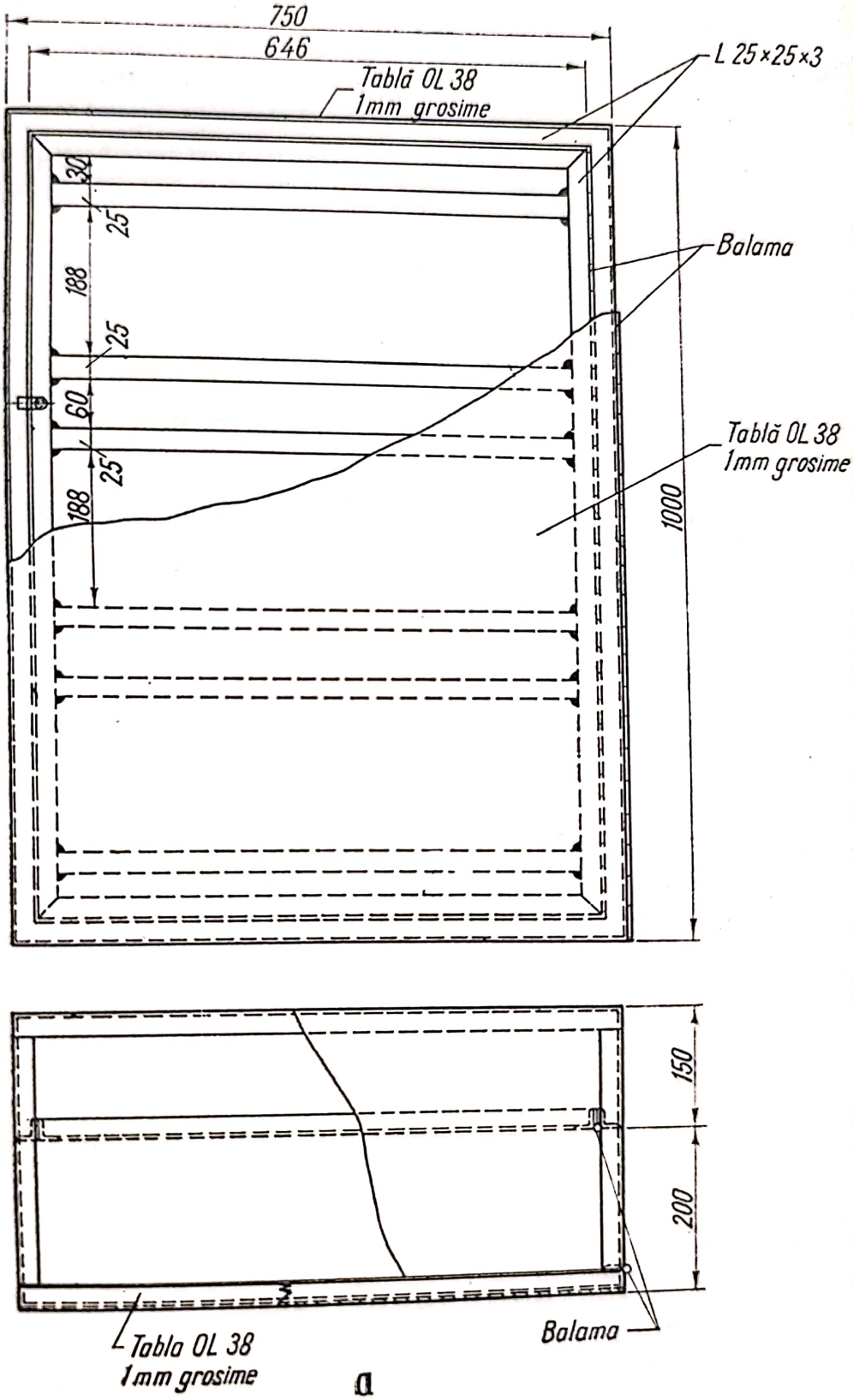


Fig. 6.5. Canale pentru cabluri:

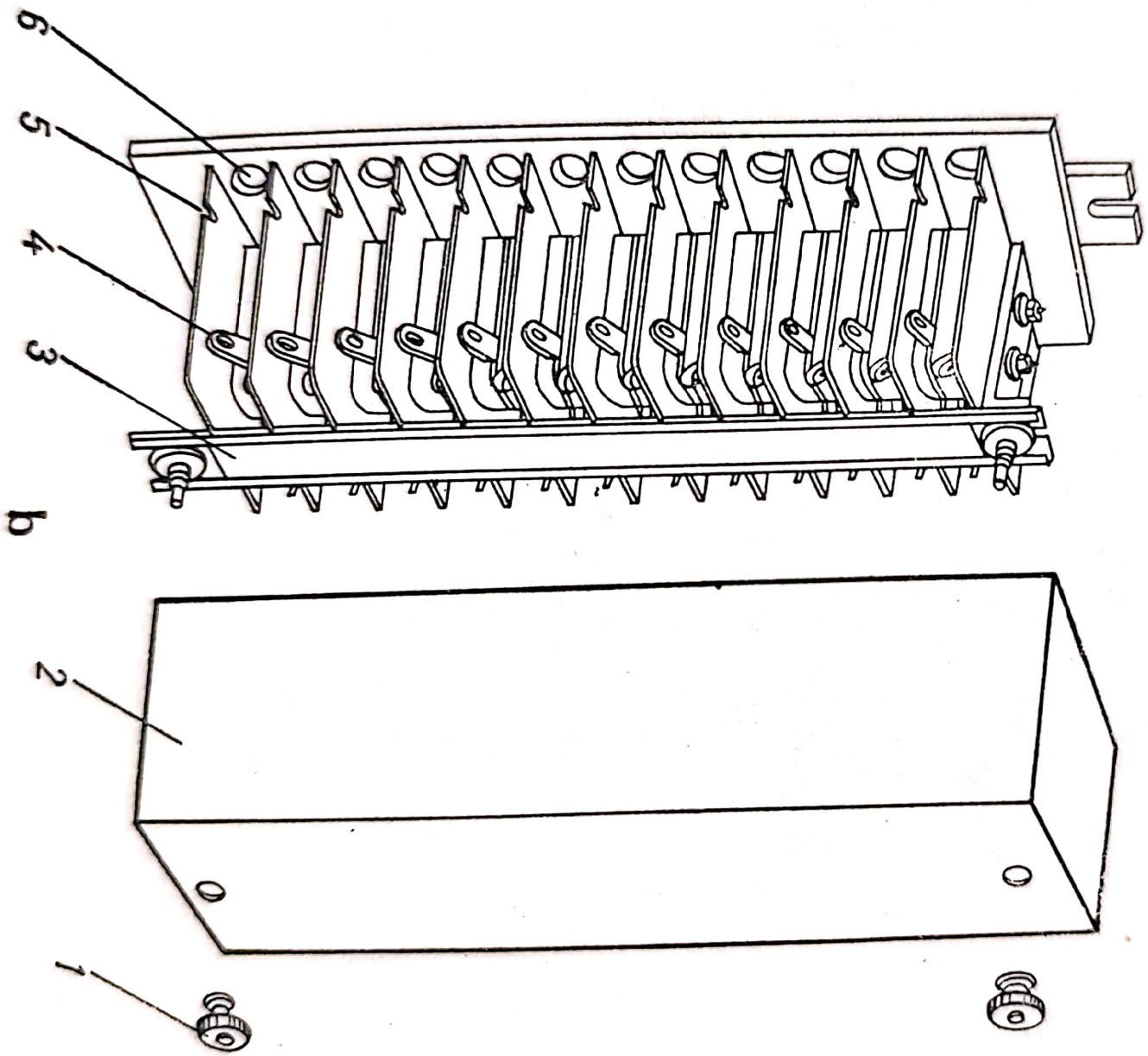
a — canal pentru cabluri în tratamentul acustic; *1* — finisaj pereți; *2* — tratamentul acustic; *3* — capac demontabil; *4* — rigle pentru capac; *5* — consolă metalică; *6* — perete; *7* — pardoseală; *b* — canal pentru cabluri în pardoseală: *1* — canal în pardoseală cu fețele sclivisite; *2* — capac demontabil din tablă de oțel; *3* — covor sau dale din PVC; *4* — acoperitoare colțar din tablă de alamă; *c* — canale pentru cabluri realizate în pardoseală dublă: *1* — tratamentul acustic al încăperii; *2* — plintă demontabilă; *3* — covor sintetic din PVC sau linoleum; *4* — capace ale canalelor de cabluri; *5* — grinzi metalice din profile T; *6* — profile metalice T dispuse între rosturile capacelor; *7* — stîlpișori metalici sau din beton; *8* — talpa stîlpișorilor; *9* — spațiu disponibil pentru canalele de cabluri.

Scanned with OKEN Scanner



a

Scanned with OKEN Scanner



Scanned with OKEN Scanner

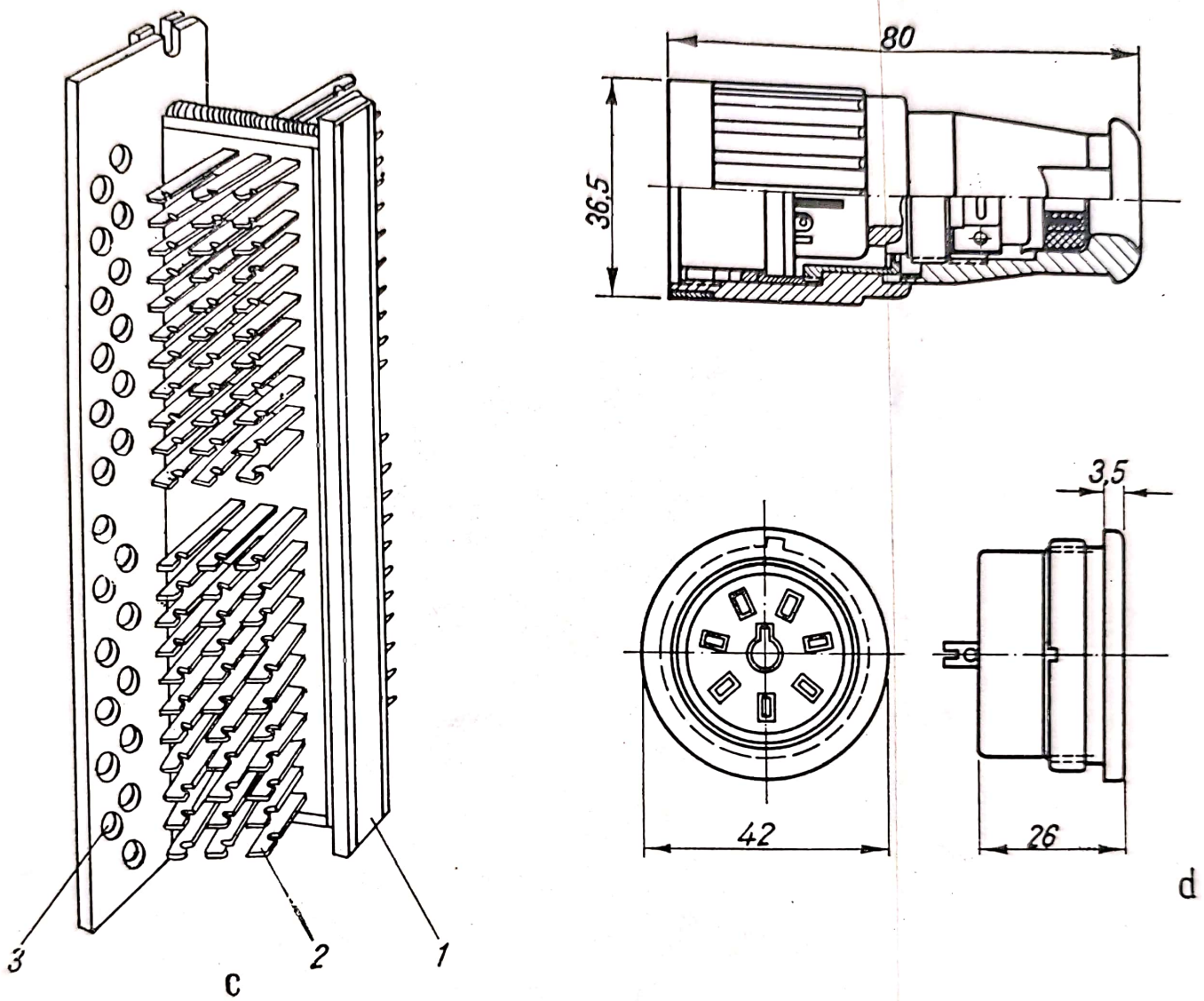
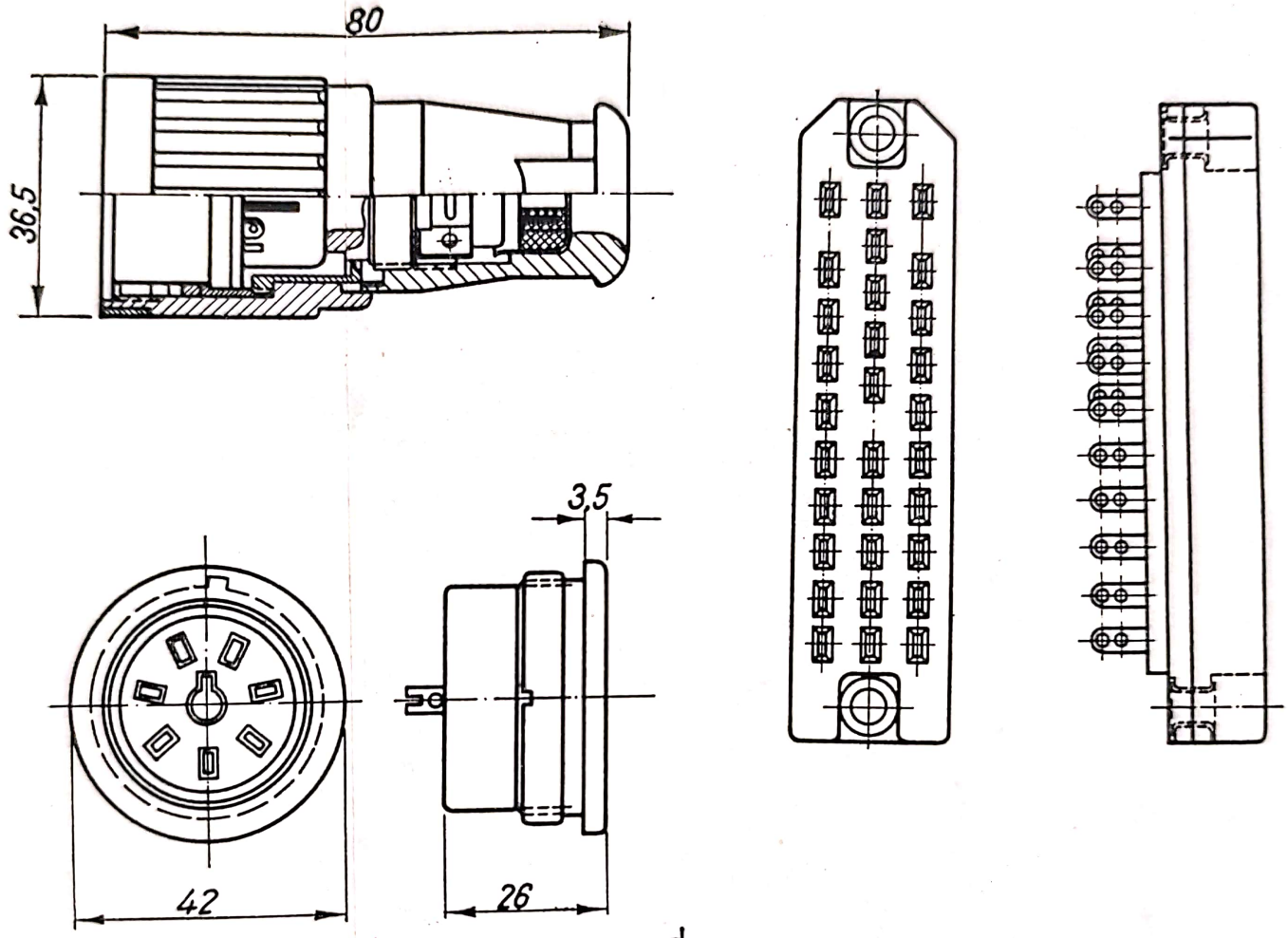


Fig. 6.6. Elemente de construcție specială.

a – set pentru o instalație electroacustică de sonorizare; *b* – regletă ecranată, tip W. S. W.; *1* – clemă pentru fixarea capacului; *2* – capac metalic; *3* – loc pentru etichetă; *4* – clemă pentru lipirea conductoarelor; *5* – clemă pentru lipirea conductorului ecran; *6* – orificiu pentru cablu; *c* – regletă neecranată; *1* – loc pentru etichetă; *2* – clemă pentru lipirea conductoarelor; *3* – orificiu pentru cablu; *d* – prize multicontact.

Scanned with OKEN Scanner



d

onstrucţie specială.

norizare; *b* – regletă ecranată, tip W. S. W.; metalic; *3* – loc pentru etichetă; *4* – clemă pirea conductorului ecran; *6* – orificiu pen- etichetă; *2* – clemă pentru lipirea conduc- lu; *d* – prize multicontact.

Scanned with OKEN Scanner

Pozarea cablurilor în canale și în tuburi protectoare. Pozarea cablurilor în canale se va face pe grupe, căutîndu-se a se aranja cablurile după funcțiuni. Astfel se vor grupa la un loc cablurile de microfoane, cablurile pentru difuzoare, cele pentru intercomunicație, cele pentru semnalizări etc.

La toate lucrările de pozare a cablurilor se vor evita înădirile dintre diferitele porțiuni de cabluri. Dacă, totuși, această operație de înnădire este de neînlăturat, ea va fi efectuată numai prin intermediul unei reglete corespunzătoare tipului de cablu utilizat.

O atenție deosebită se va acorda la montaj acelor locuri în care se produce o schimbare a direcției de pozare. În aceste cazuri este necesar să se țină seamă că raza curburii pe care o formează un cablu să fie de minimum 4 ori mai mare decît diametrul unui cablu fără ecran și de minimum 6 ori mai mare pentru cablurile ecranate.

Montarea echipamentului și interconectarea între diferitele subansambluri ale acestuia. Subansamblurile echipamentelor de sonorizare sînt prevăzute cu reglete și cu prize multicontact. La interconectarea acestor subansambluri este necesar să se acorde o deosebită grijă conectării cablurilor la priza de pămînt. În acest fel va fi posibilă evitarea apariției în instalație a unor tensiuni perturbatoare și, deci, realizarea unor parametri calitativ corespunzători. Pentru a exemplifica felul în care se poate realiza un cablaj corect, în fig. 6.7 sînt prezentate diferitele variante de executare a cablajului.

Pentru fiecare din instalațiile de sonorizare se prevăd cîte două prize de pămînt. Prima priză de pămînt, cunoscută sub denumirea de „priză de protecție", se utilizează pentru protecția împotriva electrocutărilor. La această priză se conectează carcasele și șasiele echipamentelor din instalație. La cea de-a doua priză, denumită „de lucru", se vor conecta ecranele cablurilor de audiofrecvență. Din măsurători a rezultat că valori sub 1 Ω ale prizei de pămînt dau rezultate satisfăcătoare. Obținerea unei asemenea valori este posibilă prin studierea rezistivității solului și prin alegerea unei soluții constructive adecvate. Este cunoscut faptul că straturile argiloase, cu un grad mare de umiditate, prezintă o rezistivitate mult mai mică decît cele nisipoase sau cele pietroase. Numai în urma unui sondaj se poate alege terenul corespunzător pentru amplasarea unei prize de pămînt.

Dacă terenul conține și o pătură de apă la o adîncime relativ mică, de 6—8 m, la care se poate ajunge cu baza electrozilor, atunci rezultatele obținute cu o astfel de priză de pămînt sînt foarte bune. În cazul în care spațiul care se sonorizează se află într-o zonă în care coeficientul

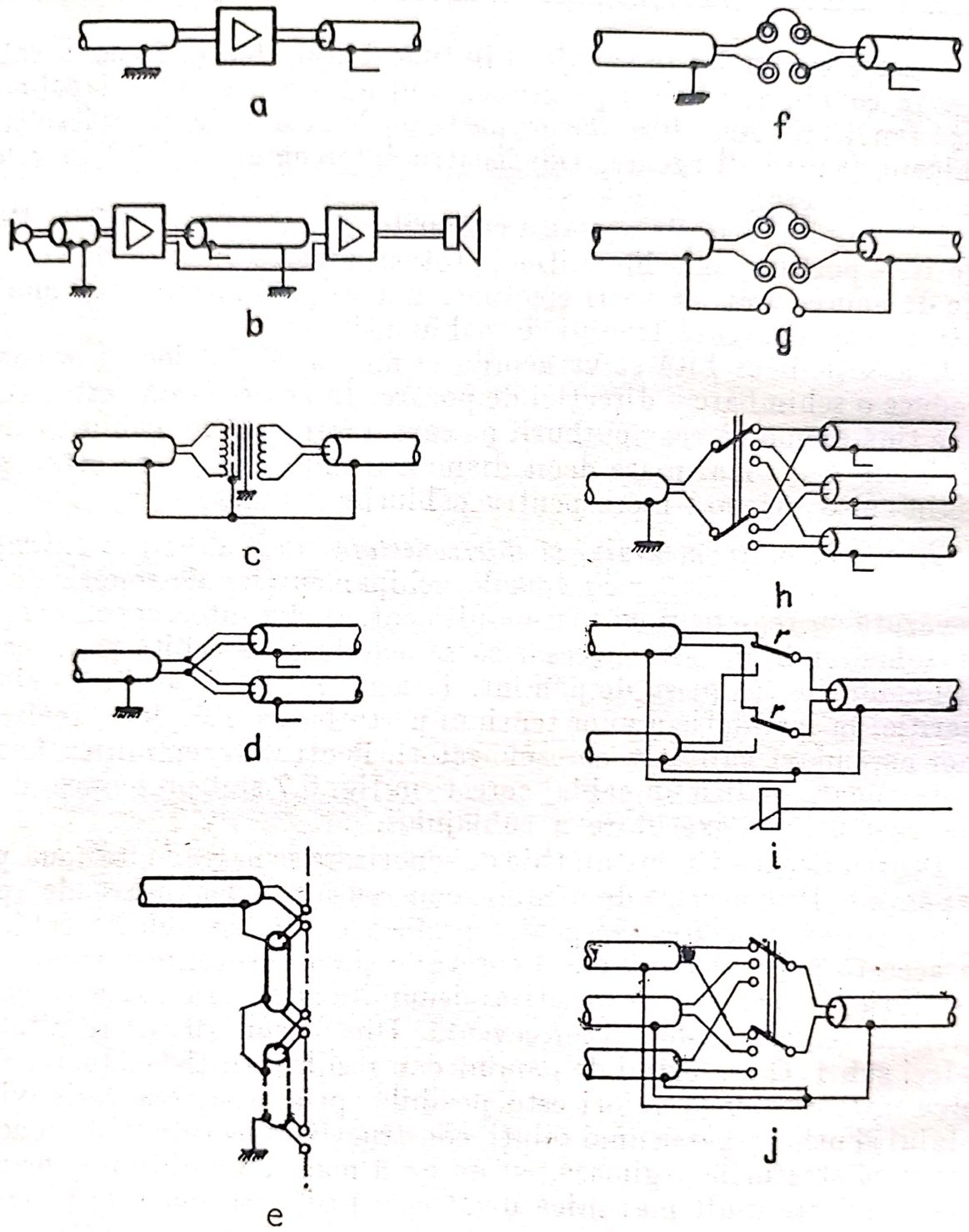


Fig. 6.7. Exemple de conectare a circuitelor de audiofrecvență la priza de pămînt de lucru:

a — circuite de intrare și ieșire ale unui amplificator; *b* —lanț electroacustic; *c* — transformator de linie; *d* — conectări în paralel; *e* — punți de legătură; *f* — centrală cu bucșe (circuitul de pămînt nu este trecut prin centrală); *g* — centrală cu bucșe (circuitul de pămînt este trecut prin centrală); *h* — comutarea unui circuit de audiofrecvență prin intermediul unei chei de tip telefonic; *i* — comutarea a două circuite de audiofrecvență prin intermediul unor contacte de releu; *j* — comutarea a trei circuite de audiofrecvență prin intermediul unei chei de tip telefonic.

Scanned with OKEN Scanner

de umiditate este foarte redus, obținerea valorii de 1 Ω este posibilă numai dacă se execută un tratament special al zonei de pămînt în jurul fiecărui electrod. Tratamentul constă fie din învelirea fiecărui electrod cu un strat de cărbune de lemn, de cocs sau de zgură, fie din realizarea unui strat din clorură de sodiu, din sulfat de cupru sau din clorură de calciu. Primul tratament al solului prezintă avantajul de a fi mult mai rezistent în timp față de al doilea.

Obținerea unei valori reduse a rezistenței prizei de pămînt implică și realizarea unor electrozi de construcție specială. Soluția optimă constă în utilizarea unor electrozi din cupru sau din oțel galvanizat, de formă tubulară, avînd lungimea de 3—4 m și diametrul de 5—6 cm. Cunoscînd valoarea rezistenței unui astfel de electrod implîntat în pămînt, se poate determina numărul necesar de electrozi utilizînd relația:

$$R_p = \frac{R_e}{n\,u}, \tag{6.1}$$

în care: R_p este rezistența prizei de pămînt, cu valoare mai mică decît 1 Ω, în Ω;
R_e — rezistența electrodului, în Ω;
n — numărul de electrozi;
u — un coeficient de utilizare avînd valori de 0,8—0,85 și depinzînd de distanța dintre electrozi și de lungimea acestora.

Așa, de exemplu, dacă un electrod prezintă o rezistență de 7,5 Ω și considerînd $u = 0{,}8$, rezultă că pentru priza de pămînt sînt necesari 10 electrozi.

Măsurări și reglaje. Ultima fază a lucrărilor de montaj o constituie reglarea echipamentului și măsurarea parametrilor tehnici. În cadrul acestor operații se vor face probe de durată, observîndu-se funcționarea instalației de sonorizare în cazul utilizării pe o perioadă îndelungată de timp și în mod continuu. De asemenea, vor fi verificate, acolo unde este cazul, dispozitivele manuale sau automate de trecere de pe unitățile defecte pe unitățile de rezervă. Este cunoscut faptul că la instalațiile care prezintă o deosebită importanță, rezerva de 100% este absolut necesară.

În cazul probării instalației se vor face încercări asupra echipamentului de semnalizare, care are rolul de a indica subansamblurile defecte și se va verifica funcționarea întregii instalații cînd una din unitățile sale s-a defectat. De asemenea, se va verifica dacă în fiecare punct de

control al lanțului electroacustic se pot introduce dispozitivele pentru controlul auditiv și vizual.

În ceea ce privește măsurarea parametrilor tehnici ai instalației, în § 6.3 vor fi precizate principalele metode de măsură ale acestora.

6.2.2. *Cabluri utilizate în instalații electroacustice de sonorizare*

Instalațiile electroacustice de sonorizare cuprind, pe lîngă aparatele și dispozitivele descrise în capitolele anterioare, și elementele care asigură interconectarea între diferitele subansambluri ale instalațiilor. Este vorba atît de cablurile speciale de audiofrecvență cît și de cele prin intermediul cărora se asigură funcționarea instalațiilor de semnalizări optice, precum și de cablurile pentru alimentare cu energie electrică.

Cabluri de audiofrecvență. Cablurile de audiofrecvență constituie categoria cu cea mai mare pondere în instalațiile electroacustice, calitatea lor condiționînd, într-o mare măsură, păstrarea parametrilor tehnici ai instalației în limitele admisibile. În legătură cu aceasta se precizează că un astfel de cablu nu trebuie să influențeze caracteristica de frecvență sau raportul semnal / zgomot al lanțului electroacustic.

Cablurile de audiofrecvență se pot clasifica, fie după structura lor (cu două sau mai multe conductoare, cu conductoare pline sau conductoare lițate, cu învelișul exterior realizat din material plastic sau cauciuc), fie după valorile tensiunilor ce le sînt aplicate în timpul funcționării instalației.

Deoarece cel de-al doilea criteriu de clasificare prezintă o deosebită importanță pentru cei ce realizează o instalație de sonorizare, el va fi dezvoltat în cele ce urmează.

Astfel, din acest punct de vedere, pot fi deosebite următoarele categorii de cabluri:

1) cabluri pentru microfon, cărora li se aplică în funcționare tensiuni de ordinul sutelor de microvolți sau de ordinul milivolților;

2) cabluri pentru linii, utilizate în cazurile în care valorile tensiunilor sînt de ordinul sutelor de milivolți sau al volților;

3) cabluri pentru difuzoare, cărora în funcțiune li se aplică tensiuni de ordinul zecilor sau sutelor de volți.

Cablul pentru microfon (fig. 6.8) este alcătuit din două conductoare din cupru *1*, învelite fiecare într-un strat izolator *2*, confecționat din

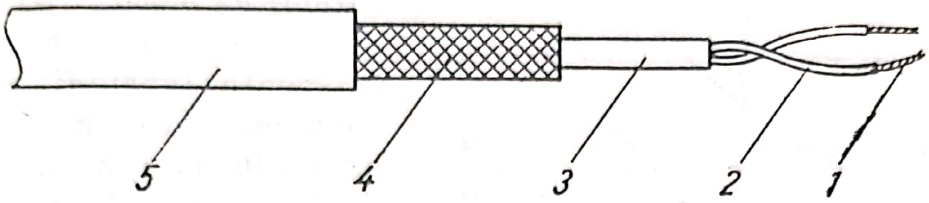


Fig. 6.8. Cablu de microfon flexibil (YMLCM 2 × 0,75 mm²).

material sintetic. Cele două conductoare sînt torsadate și introduse, la rîndul lor, într-un alt strat izolator *3*, confecționat, de asemenea, din material sintetic. Peste acest ultim strat izolator este prevăzut un ecran *4*, realizat sub formă de plasă, alcătuită dintr-o împletitură de fire foarte subțiri din cupru. Ansamblul acesta este introdus într-un înveliș de protecție, *5* alcătuit și el din material sintetic. Dimensiunile uzuale ale unui astfel de cablu sînt următoarele: diametrul exterior este mai mic sau cel mult egal cu 8 mm, iar secțiunea unui conductor este de 0,75 mm².

Deoarece rețeaua cablurilor pentru microfoane, care este foarte întinsă și cu numeroase ramificații, poate fi uneori amplasată în apropierea unor surse perturbatoare de înaltă frecvență ca, de exemplu, instalații de televiziune în circuit închis, instalații de traducere simultană fără fir, instalații de radar (cum este cazul instalațiilor de sonorizare pentru aeroporturi), este necesar să se utilizeze cabluri de microfon de construcție specială. Un astfel de cablu este prevăzut cu două ecrane suprapuse. Utilitatea celui de-al doilea ecran poate fi pusă în evidență dacă se are în vedere valoarea rezistenței de cuplaj. Prin rezistență de cuplaj la un cablu se înțelege raportul dintre tensiunea perturbatoare (măsurată între conductorul cablului și ecranul respectiv) și curentul perturbator ce trece prin ecranul cablului. Ea se exprimă în ohmi pe unitatea de lungime. Este de la sine înțeles că efectul ecranelor unui cablu este cu atît mai mare, și deci protecția sa împotriva perturbațiilor de înaltă frecvență este cu atît mai bună, cu cît valoarea rezistenței de cuplaj este mai mică. Pentru exemplificare, în fig. 6.9 s-a prezentat variația valorii rezistenței de cuplaj în funcție de frecvență pentru cabluri cu un singur ecran (*1*) și pentru cabluri de construcție recentă, realizate de firma Elektromesstechnik (*2* și *3*).

După cum se observă în această figură, la frecvența de 100 kHz, valoarea rezistenței de cuplaj este de aproximativ zece ori mai mică la un cablu cu dublu ecran față de unul cu un singur ecran. Într-adevăr, dacă la un cablu de tip vechi valoarea acestei rezistențe era de 90 Ω/km, la un cablu de construcție specială ea nu depășește 9 Ω/km. Bine-

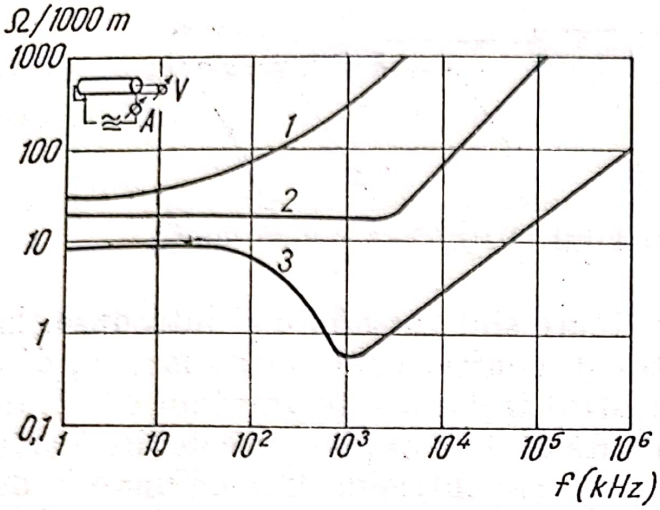


Fig. 6.9. Variația rezistenței de cuplaj a cablurilor de audiofrecvență în funcție de frecvența perturbatoare:

1 — cabluri vechi; *2* — cablu modern de tip EMT pentru nivele medii; *3* — un cablu modern de microfon tip EMT.

înțeles că aceste diferențe sînt din ce în ce mai mari cu cît frecvența tensiunii perturbatoare este mai mare. Astfel, de exemplu, la o tensiune cu frecvența de 1 MHz raportul valorilor rezistențelor de cuplaj între cele două categorii de cabluri este de ordinul zecilor.

Noul procedeu de ecranare a cablurilor, adoptat de fabricile constructoare, constă în utilizarea unui ecran, alcătuit dintr-o împletitură realizată din două straturi metalice suprapuse, din sîrmă de cupru, bobinate în sens invers. După cum s-a constatat prin măsurări, un astfel de ecran prezintă o eficacitate sporită pînă la o frecvență de aproximativ 50 MHz, deci de aproape zece ori mai bună decît cea obținută la cablurile cunoscute pînă în prezent. Cum însă peste acest ecran dublu se mai așază încă două straturi de sîrmă din cupru, asemănătoare ca structură cu cele din primul ecranaj și separate printr-un înveliș izolator (fig. 6.10), eficacitatea întregului ansamblu este mult sporită, putîndu-se îndepărta efectul perturbator al unor tensiuni avînd frecvența de 500 MHz.

Este necesar să se sublinieze că perfecționările în construcția cablurilor de microfon se referă nu numai la ecranarea lor ci și la alte elemente care intră în structura acestor cabluri. Astfel, trecerea de la învelișul protector, realizat din cauciuc, la cel realizat din policlorură de vinil, a îmbunătățit calitatea cablurilor în ceea ce privește maleabilitatea lor, stabilitatea la variațiile de temperatură, neinflamabilitatea, rezistența la solicitările mecanice și rezistența împotriva agenților chimici externi.

Cablurile pentru microfon moderne sînt prevăzute — în scopul scurtării timpului de conectare la reglete — cu un fir „de rupere", realizat din perlon și plasat sub învelișul protector *5*. Prin tragerea de acest fir cu un clește se poate secționa învelișul protector pe lungimea dorită.

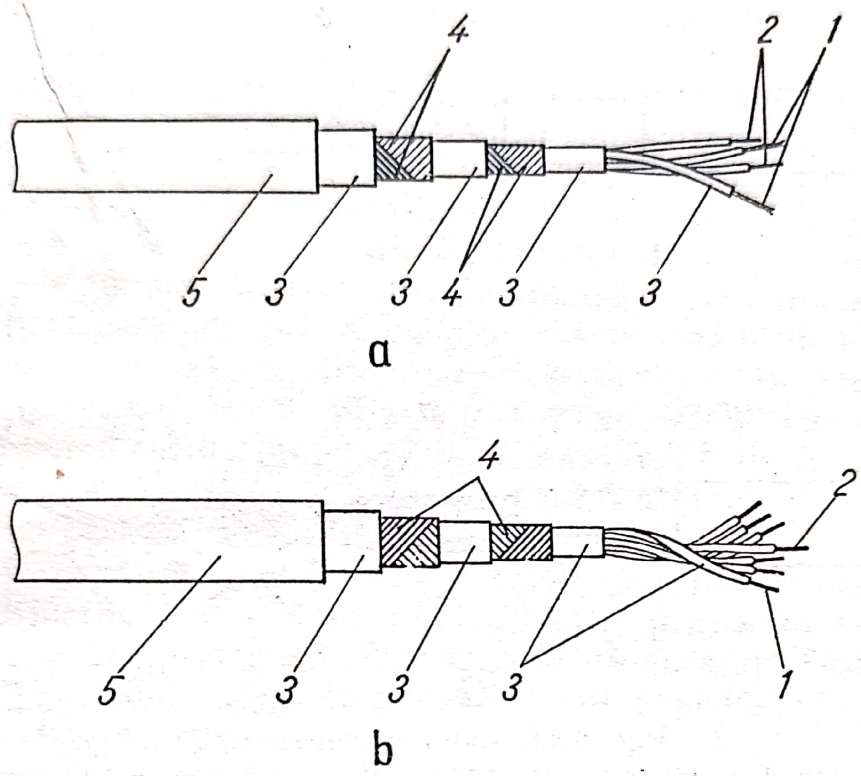


Fig. 6.10. Cabluri pentru microfon de construcție recentă:

a — cablu pentru microfon cu două conductoare lițate (tip EMT 2202 2 × 0,24 mm²); *b* — cablu pentru microfon condensator cu conductor central din oțel (tip EMT 6209 4 × 0,15 mm² + 2 × 0,50 mm²): *1* — conductoare lițate; *2* — conductoare din oțel; *3* — învelișuri izolatoare; *4* — ecrane realizate din sîrmă de cupru; *5* — înveliș de protecție.

O deosebită atenție au acordat constructorii de cabluri materialelor din care se realizează izolația. Utilizarea unui material special realizat din polietilen a permis reducerea capacității per kilometru (care la cablurile de tip vechi era de ordinul 117—127 nF/km) cu o treime. În plus, un astfel de material izolator prezintă și o deosebită rezistență la temperaturi ridicate, înlesnind în acest fel efectuarea unor conexiuni de bună calitate.

Mai este necesar să se sublinieze că unele fabrici constructoare de cabluri pentru microfon introduc, pe lîngă conductoarele din cupru, o liță din oțel, izolată în material sintetic, avînd rolul de a mări rezistența cablului la tracțiune.

Cablul pentru linii, așa cum se poate observa și din fig. 6.11, *a*, este asemănător ca structură cu un cablu pentru microfon. Diametrul exterior al unui astfel de cablu este de ordinul 7—8 mm.

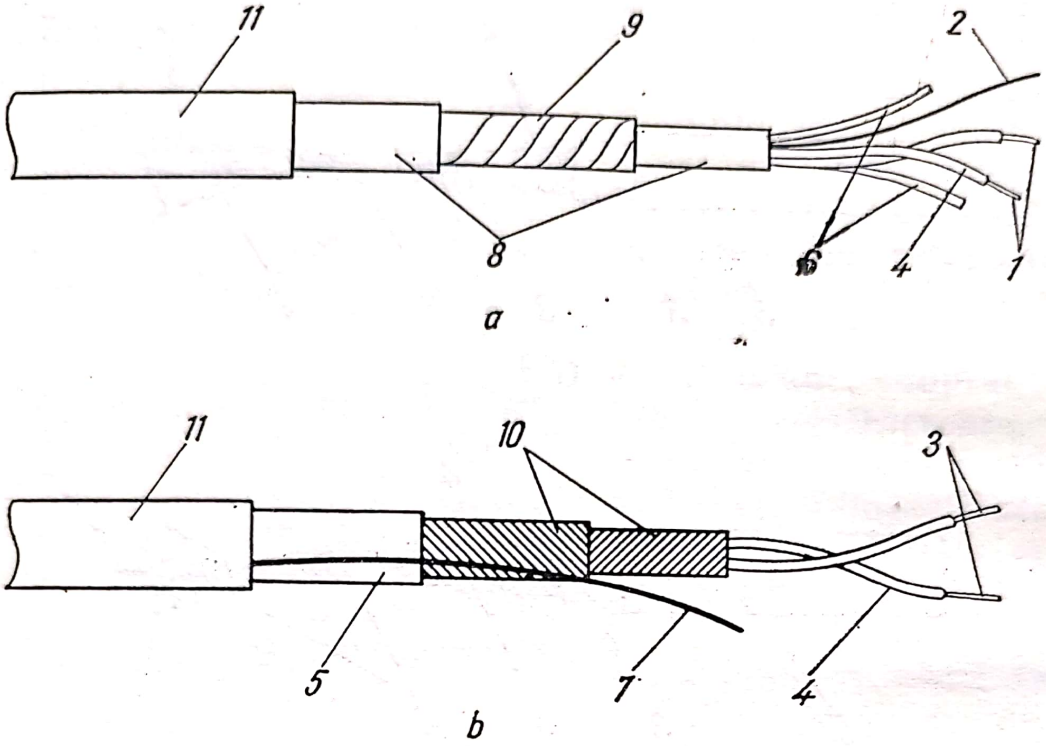


Fig. 6.11. Cabluri pentru linii:
a — cablu de audiofrecvenţă YF(St) M 2 × 0,8 mm uzual, avînd ca ecran un strat simplu din aluminiu; *b* — cablu de audiofrecvenţă de construcţie specială EMT 2510 2 × 0,19 mm², avînd ca ecran un singur strat dublu din sîrmă de cupru: *1* — conductoare masive; *2* — conductor de cupru pentru conectare la pămînt; *3* — conductoare lităte; *4*, *5* — cămăşi izolatoare; *6* — fir de material plastic; *7* — fir de rupere din perlon; *8* — folie subţire din material sintetic; *9* — ecran realizat din folie de aluminiu; *10* — ecrane realizate din sîrmă de cupru; *11* — cămaşă de protecţie.

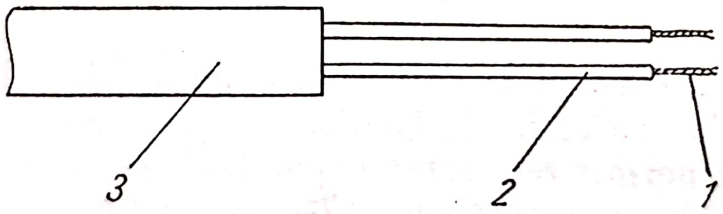


Fig. 6.12. Cabluri pentru difuzoare:
1 — conductoare masive sau conductoare lităte; *2* — cămaşă izolatoare; *3* — cămaşă de protecţie.

În cazul în care reţeaua de cabluri de linie se găseşte în apropierea unor surse perturbatoare de înaltă frecvenţă, se pot utiliza cabluri de construcţie specială (fig. 6.11, *b*), asemănătoare cu cele descrise în cazul cablurilor pentru microfon, dar avînd ca ecran un singur strat dublu.

Cablurile pentru difuzoare se utilizează pentru conectarea difuzoarelor la amplificatoarele de putere. Ca structură, un cablu pentru difuzor (fig. 6.12) este realizat din două conductoare *1*, de cupru sau alu-

miniu, izolate în material sintetic *2* și acoperite cu un înveliș protector *3*, de asemenea din material sintetic.

Conductoarele cablurilor pentru difuzor se dimensionează în funcție de materialul din care sînt realizate (cupru sau aluminiu), de distanța care separă difuzorul de amplificator, precum și de pierderea de putere maximă admisibilă. Pentru exemplificare, în fig. 6.13, 6.14 și 6.15 s-au prezentat diagrame din care rezultă pierderea de putere în procente (pînă la 10%) în funcție de distanță, de diametru și de materialul din care este realizat conductorul. Nomogramele au fost întocmite pentru cazul în care se utilizează amplificatoare de putere, cu tensiune de ieșire de 100 V și puteri de 25 W, 75 W și 250 W. Cînd calculul se efectuează pentru un singur difuzor, lungimea maximă admisibilă a cablului în funcție de parametrii arătați anterior, rezultă din diagramă, fără a mai fi nevoie de un calcul prealabil.

În cazul în care este necesară conectarea mai multor difuzoare la același amplificator, pot apărea două situații: prima în care fiecare difuzor este conectat printr-un cablu separat la un amplificator de putere (fig. 6.16) și a doua în care difuzoarele sînt conectate în paralel pe aceeași linie (fig. 6.17).

În primul caz de conectare a difuzoarelor se face un calcul prealabil pentru determinarea lungimii medii a cablurilor, pentru care se folosește relația:

$$L_m = \frac{\Sigma L}{n} = \frac{L_1 + L_2 \ldots L_n}{n}, \qquad (6.2)$$

în care: L_m este lungimea medie a cablului care se consideră pentru determinarea secțiunii conductoarelor din nomogramă;

L_1, L_2, L_n sînt lungimile diferitelor cabluri de alimentare individuală a difuzoarelor;

n este numărul difuzoarelor individuale conectate.

Acest calcul, care presupune o anumită aproximare, este valabil numai în cazul în care distanțele $L_1 \ldots L_n$ nu diferă prea mult între ele și cînd difuzoarele utilizate au puteri nominale egale. În caz contrar calculul trebuie efectuat pentru fiecare caz în parte.

Dacă difuzoarele sînt conectate potrivit fig. 6.17, determinarea pierderii de putere se va face, pe de-o parte, pentru linia de lungime L_0 și, pe de altă parte, pentru media lungimilor $L_1 \ldots L_n$, așa că în acest caz distanța amplificator — difuzor, care se consideră în calcul, este dată de relația:

$$L_m = L_0 + \frac{L_1 + L_2 + \ldots L_n}{n}, \qquad (6.3)$$

Scanned with OKEN Scanner

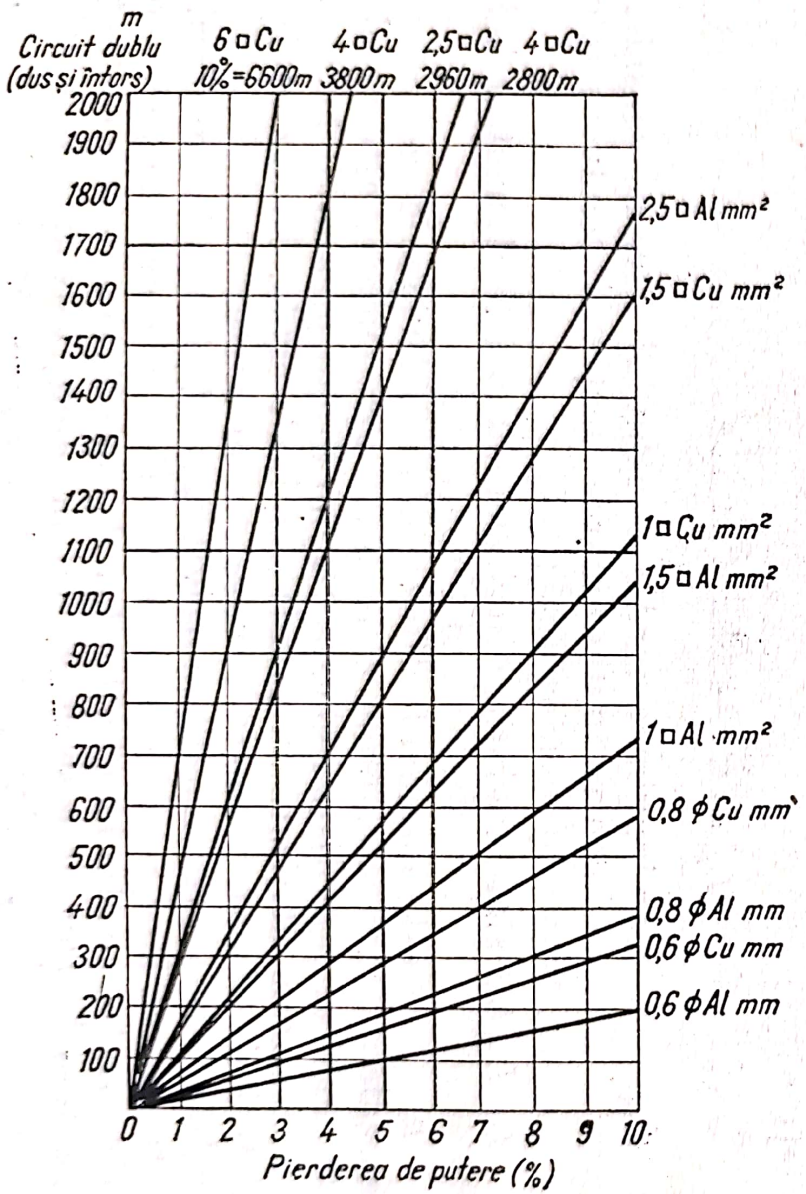


Fig. 6.13. Pierderile de putere pentru ieșirile amplificatoarelor de 25 W, 100 V.

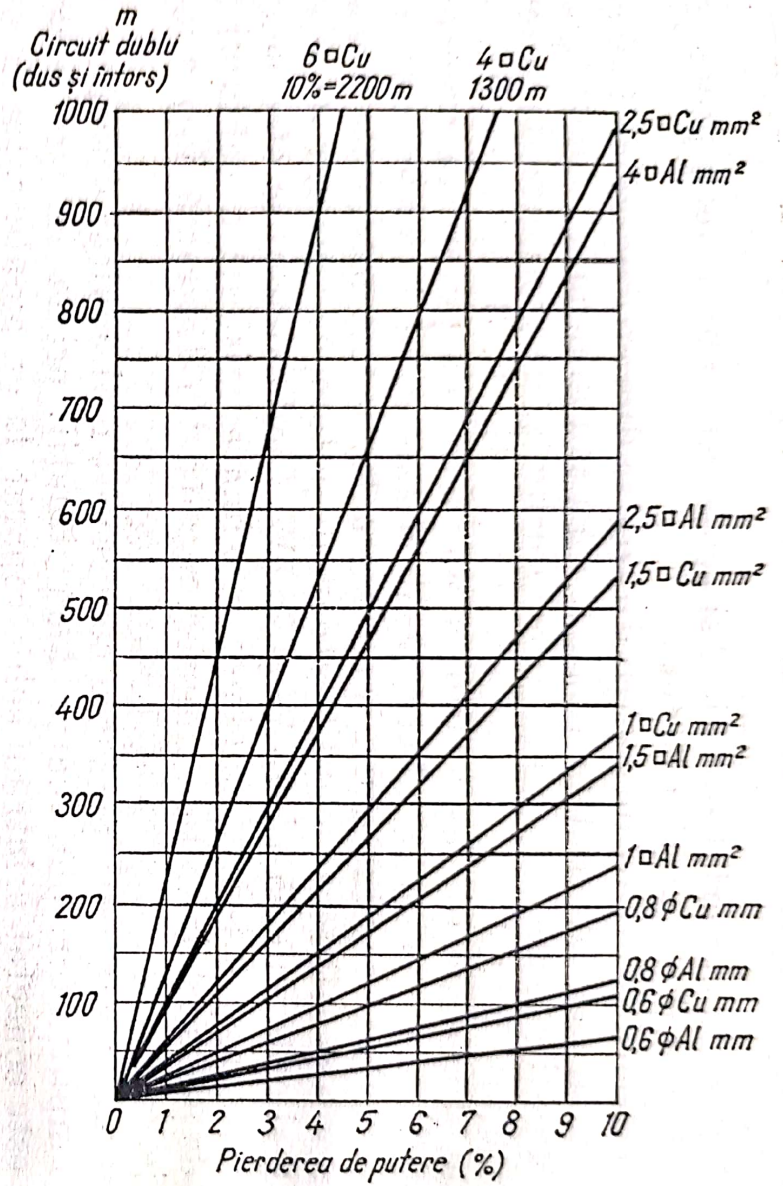


Fig. 6.14. Pierderile de putere pentru ieșirile amplificatoarelor de 75 W, 100 V.

Scanned with OKEN Scanner

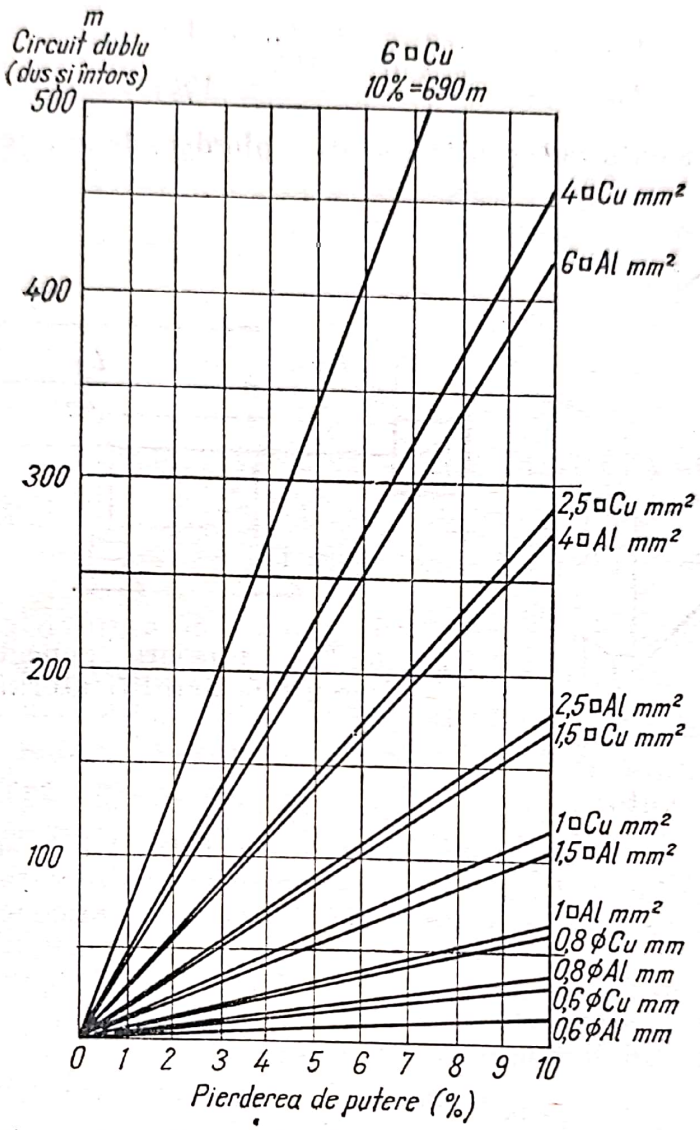


Fig. 6.15. Pierderile de putere pentru ieșirile amplificatoarelor de 250 W, 100 V.

în care: L_0 este distanța de la amplificator la primul punct de derivație;

$L_1, L_2, .. L_n$ sînt distanțele de la primul punct de derivație pînă la difuzorul respectiv;

n este numărul difuzoarelor individuale conectate.

Exemple de calcul 1. Să se calculeze pierderea de putere electrică într-o instalație de sonorizare realizată potrivit schemei din fig. 6.16, în care se folosește un amplificator cu puterea nominală de 75 W, cu tensiunea de ieșire de 100 V și la ieșirea căruia se coenctează trei difuzoare, avînd fiecare o putere de 25 W. Distanțele între amplificator și difuzoare sînt de 150 m, 170 m și 185 m, iar conductoarele cablului sînt din cupru, cu secțiunea de 1 mm².

Potrivit relației (6.2), lungimea medie L_m va fi:

$$L_m = \frac{150 + 170 + 185}{3} = 168{,}33 \text{ m}.$$

Din nomograma dată în fig. 6.14 rezultă o pierdere de putere electrică de aproximativ 4,5%.

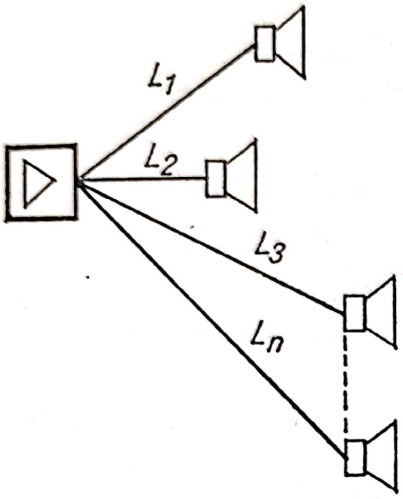


Fig. 6.16. Difuzoare legate prin circuite separate la amplificatorul de putere.

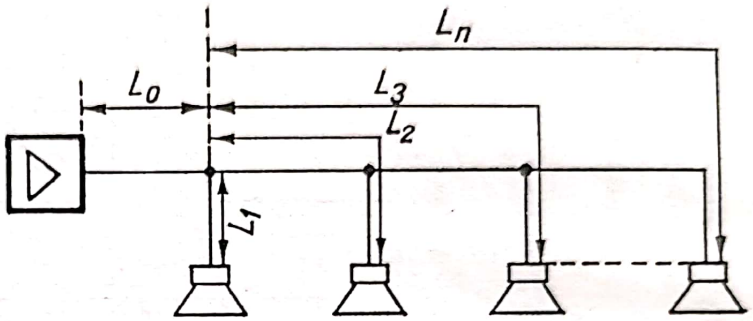


Fig. 6.17. Difuzoare conectate prin același circuit la amplificatorul de putere.

2. Să se calculeze pierderea de putere într-o instalație de sonorizare realizată potrivit schemei din fig. 6.17, în care se folosește un amplificator cu puterea nominală de 250 W, cu tensiunea de ieșire de 100 V, la care sînt conectate 10 difuzoare, cu puterea de 25 W fiecare, distanțate la 10 m unul față de celălalt. Distanța dintre amplificator și primul difuzor este de 300 m. Pentru conectare se utilizează conductoare din aluminiu cu secțiunea de 6 mm^2.

Potrivit relației (6.3) lungimea medie L_m va fi:

$$L_m = 300 + \frac{90}{9} = 310 \text{ m}.$$

La această distanță dintre amplificator și difuzor pentru tipul de conductor indicat, corespunde o pierdere de putere electrică de aproximativ 7,5%.

Cabluri utilizate în echipamentul de semnalizări al unei instalații de sonorizare. În majoritatea cazurilor, instalațiile de sonorizare cuprind și echipamente pentru semnalizări optice, prin intermediul cărora se asigură buna desfășurare a manifestărilor artistice, a conferințelor, a manifestărilor sportive etc. Sînt astfel necesare instalații pentru semnalizări optice între încăperea pentru aparatajul instalației de sonorizare și fosă, sau între fosă și culise sau între încăperea pentru aparataj și tribuna unui conferențiar etc. Pentru asigurarea acestor legături se utilizează cabluri speciale, multifilare (fig. 6.18).

Un astfel de cablu este alcătuit din conductoare din cupru *1*, izolate în material sintetic *3* și torsadate pe perechi *8*, perechile fiind, la rîn-

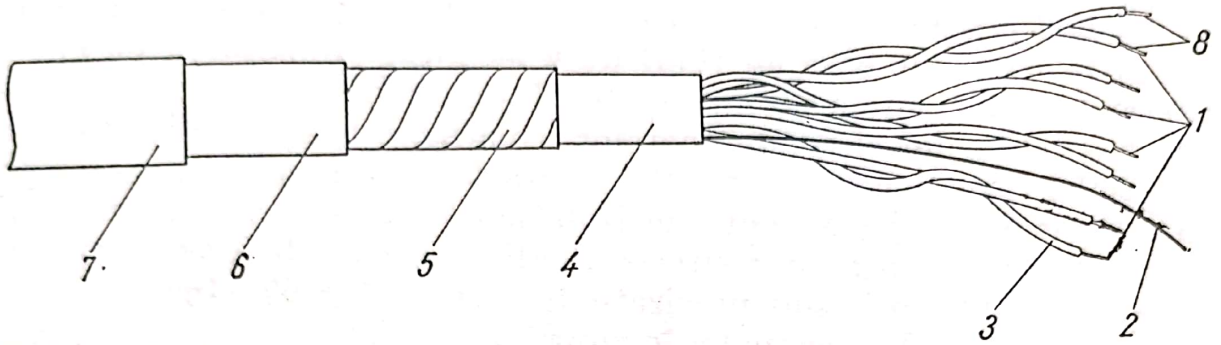


Fig. 6.18. Cablu utilizat în echipamentul de semnalizări (YYML 10×2×0,6 mm):
1 — conductoare masive; *2* — conductor de cupru pentru conectare la pămînt; *3* — cămăși izolatoare; *4* — folie subțire din material sintetic; *5* — ecran realizat din folie de aluminiu; *6* — strat izolator din hîrtie cerată; *7* — cămașă de protecție; *8* — o pereche de conductoare.

dul lor, torsadate între ele. Ansamblul de conductoare este acoperit cu o folie din aluminiu *5*, peste care se găsește stratul protector *7*.

Dimensionarea conductoarelor din cablurile destinate alimentării în curent continuu se face în funcție de distanța dintre sursa de curent și sarcină și de valoarea curentului care circulă prin conductoare. În scopul determinării rapide a secțiunii conductoarelor, în fig. 6.19 este prezentată nomograma din care rezultă secțiunea conductorului în funcție de parametrii arătați anterior. Astfel, dacă între sursa de energie electrică și sarcină este o distanță de 200 m, iar curentul absorbit de circuitele de semnalizare este de 5 A, este necesară o secțiune de 6 mm² pentru conductoarele cablului de semnalizări.

În tabelul 6.2 sînt prezentate caracteristicile unor cabluri de microfon, de linie și de semnalizări, de fabricație EMT, utilizate în instalațiile de sonorizare.

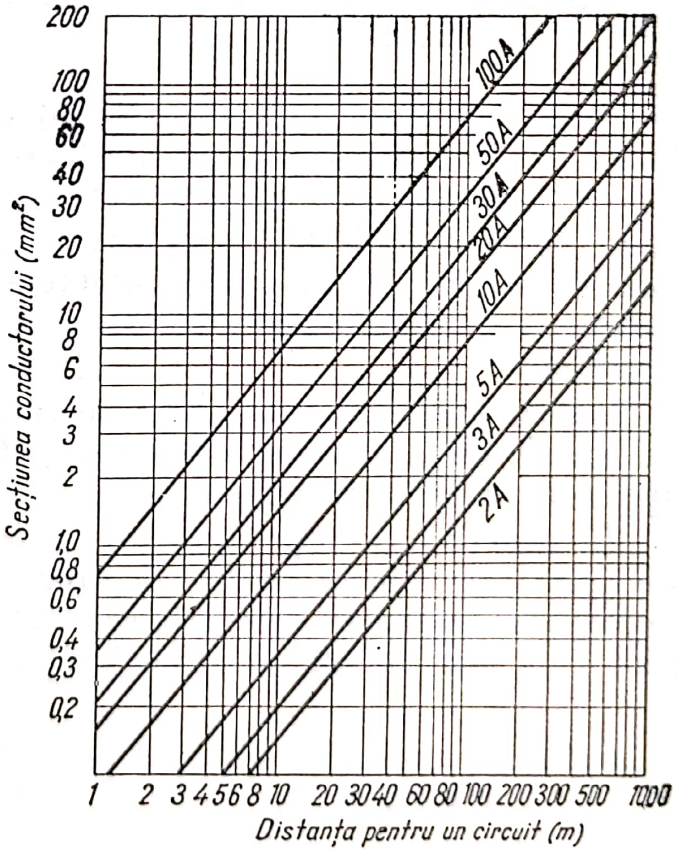


Fig. 6.19. Nomogramă pentru calculul unei linii de alimentare în curent continuu.

Cabluri pentru alimentare cu energie electrică. Din această categorie fac parte cablurile care au rolul de a asigura alimentarea cu energie electrică a elementelor componente ale unei instalații de sonorizare. Notarea cablurilor și conductoarelor, condițiile tehnice (dimensiunile, materialele componente, execuția, caracteristicile electrice — rigiditatea dielectrică și rezistența de izolație — , caracteristicile mecanice și fizice), regulile pentru verificarea calității, metodele de încercare și domeniul de utilizare sînt precizate în: STAS 526-67 (Instalații electrice fixe sub 1 kV, conducte de cupru cu izolație de cauciuc pînă la 500 V. Dimensiuni); STAS 6865-63 (Conducte de cupru sau aluminiu cu izolație de policlorură de vinil); STAS 1724-66 (Conductori de cupru pentru conducte electrice izolate și neizolate); STAS 5699-57 (Conducte de aluminiu cu izolație de cauciuc pînă la 500 V. Dimensiuni); STAS 5162-61 (Conducte electrice cu izolație de cauciuc) și STAS 6866-63 (Metode de încercare).

6.3. Măsurări executate în instalațiile electroacustice destinate sonorizărilor

Obținerea unor parametri tehnici corespunzători pentru o instalație electroacustică de sonorizare considerată în ansamblul ei, implică efectuarea unor măsurări și reglaje atît ale surselor de program (microfoane, magnetofoane și disclectoare), ale lanțului electroacustic alcătuit din amplificatoare, atenuatoare, corectoare și filtre de frecvență, cît și ale surselor sonore electroacustice ca, de exemplu, difuzoare, casete cu difuzoare etc.

Pentru a realiza ansamblul operațiilor de măsurări este necesar ca în funcție de amploarea instalației, să se creeze laboratoare dotate cu aparataj de măsură corespunzător.

În cadrul acestui paragraf vor fi prezentate atît principalele aparate de măsurare a instalațiilor electroacustice de sonorizare cît și procedeele folosite pentru determinarea celor mai importanți parametri tehnici prin care se definesc performanțele instalației.

6.3.1. *Aparatura utilizată pentru măsurarea parametrilor instalației de sonorizare*

Pentru determinarea valorilor curenților și tensiunilor continue și alternative, fiecare complex de măsură trebuie să fie prevăzut cu apa-

Tabelul 6.2

Cabluri de audiofrecvență și de semnalizare utilizate în instalațiile electroacustice

Tipul EMT	Numărul de conductoare	Secțiunea conductorului mm²	Conductoare individuale (număr × diametru) mm	Numărul straturilor de ecranare	Diametrul exterior mm	Rezistența unei bucle de 100 m Ω	Capacitatea de lucru pe 1 m liniar pF	Greutatea pentru 100 m kg	Descriere, utilizare
2111	2	0,22	7×0,2	2	4,3	18	70	3,1	Cablu de microfon cu fir de rupere din perlon pentru secționarea rapidă a învelișului protector al cablului
2112	2	0,06	15×0,07	2	2,7	63	75	1,4	Cablu de audiofrecvență foarte flexibil, foarte subțire
2202	2	0,24	30×0,1	2 + 2	6,0	15	65	6,6	Cbalu de microfon, foarte flexibil cu două conductoare lițate din oțel
4113 4126	4 4	0,06 0,24	15×0,07 30×0,1	2 2	5,0 7,3	63 15	75 80	3,3 4,5	Cablu de audiofrecvență foarte flexibil, cu două perechi de conductoare lițate din oțel. Este recomandat în special pentru instalații transportabile
6209	4 2	0,15 0,50	37×0,07 133×0,07	2 + 2	6,3	25 7,5	80 —	8,1	Cablu pentru microfon condensator, foarte flexibil, cu conductor din oțel, rezistent la tracțiune
8 203	2+2+ + 4	0,16	41×0,07	3 × 2 +2	8,0	25	100	11,6	Cablu dublu pentru microfon și semnalizare, destinat instalațiilor transportabile, echipat cu trei conductoare lițate din oțel

Scanned with OKEN Scanner

(continuare) *Tabelul 6.2*

Tipul	Numărul de conductoare	Secțiunea conductorului	Conductoare individuale (număr × diametru)	Numărul straturilor de ecranare	Diametrul exterior	Rezistența unei bucle de 100 m	Capacitatea de lucru pe 1 m liniar	Greutatea pentru 100 m	Descriere, utilizare
EMT		mm²	mm		mm	Ω	pF	kg	
2 510	2	0,19	1 × 0,5	2	3,8	20	75	2,4	Cablu de audiofrecvență cu conductor masiv destinat instalațiilor fixe, cu fir de rupere din perlon
1 700	1	0,018	1 × 0,15	Împletitură	3,5	250	35	2,2	Conductor pentru conexiuni
1 919	1	—	14 × 0,2	—	1,8	—	—	0,7	Conductor lițat din oțel utilizat ca frînghie de agățare pentru instalațiile cu microfon pe troliu.
9 224	10	0,24	30 × 0,1	5×2+2	11,5	15	81	25,7	Cablu cu 5 perechi ecranate fiecare în parte
9 225	20	0,24	30×0 1	10×2+2	16,1	15	81	52	Cablu cu 10 perechi ecranate fiecare în parte
9 622	10	0,19	1 × 0,5	5×2+2	9,8	18	71	20	Cablu cu 5 perechi ecranate fiecare în parte, destinat instalațiilor fixe
9 623	20	0,19	1 × 0,5	10×2+2	13,5	18	71	36,2	Cablu cu 10 perechi ecranate fiecare în parte, destinat instalațiilor fixe

Scanned with OKEN Scanner

rate de tipul voltmetre-ampermetre-ohmmetre, care să poată fi utilizate pentru măsurarea unei game largi de valori.

Ca exemplu, în fig. 6.20 se prezintă schema unui aparat de tip NORMA, iar în tabelul de la p. 410 caracteristicile sale.

Obținerea tensiunilor de audiofrecvență necesare determinării caracteristicilor tehnice ale lanțului electroacustic este posibilă folosind generatoare prin intermediul cărora să se asigure o gamă cît mai largă de tensiuni în domeniul de frecvențe cuprins între 20 și 20 000 Hz. Cu titlu informativ se dau schema-bloc a unui generator de audiofrecvență de fabricație Brüel & Kjaer tip 1022 (fig. 6.21) și în tabelul următor, parametrii săi.

Pentru măsurarea tensiunilor de audiofrecvență este necesar să se utilizeze un voltmetru electronic, care să permită măsurarea atît a unor tensiuni corespunzătoare celor care se găsesc la bornele unui microfon, deci de ordinul sutelor de microvolți, cît și a tensiunilor de ordinul sutelor de volți corespunzăoare tensiunilor de ieșire ale amplificatoarelor de putere. Pentru exemplificare, în cele ce urmează sînt date performanțele tehnice ale unui voltmetru de fabricație W.S.W.

Determinarea factorului de distorsiuni se efectuează prin intermediul unor aparate de

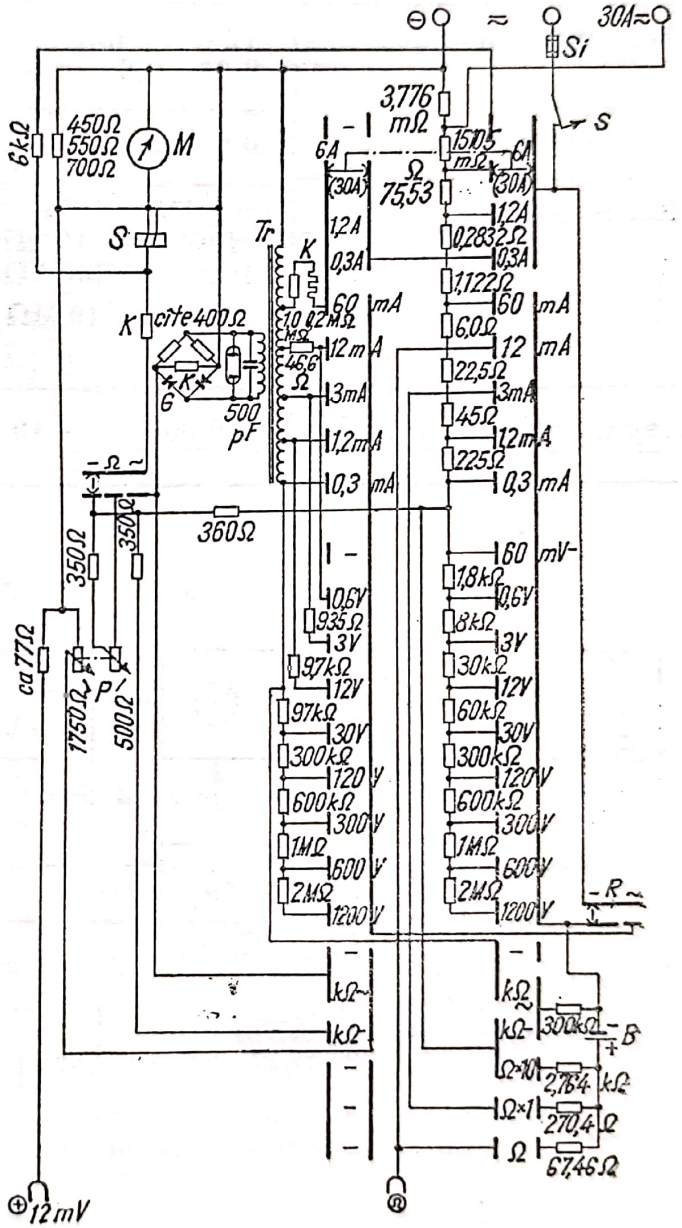


Fig. 6.20. Aparat de măsurat tip „NORMA“:
M — instrument de măsură cu bandă de întindere; *Tr* — transformator; *G* — punte de redresare; *S* — releu de protecție; *s* — contactul releului de protecție; *B* — baterie de 1,5 V; *P* — potențiometru de reglaj pentru gamele de măsură privind rezistențele și capacitățile.

Caracteristicile tehnice ale aparatului de măsură tip NORMA

Mărimea	Valoarea
Curenți continui și alternativi:	0,3 — 1,2 — 3 — 12 — 60 mA 0,06 — 0,3 — 1,2 — 6 — 30 A
Tensiuni continue:	12 — 60 mA 0,06—0,6 — 3 — 12 — 30 — 120 — 300 — 600 — 1200 V
Tensiuni alternative:	0,6 — 3 — 12 — 30 — 120 — 300 — 600 — 1200 V
Rezistențe:	0,1Ω — 100Ω 10Ω — 10 kΩ 100Ω — 100 kΩ } cu baterie de 1,5 V cuprinsă în instrument 10kΩ — 10 MΩ cu tensiune alternativă 100 — 240 V
Capacități:	10 000 pF — 10 μF cu tensiune alternativă 100 — 240 V

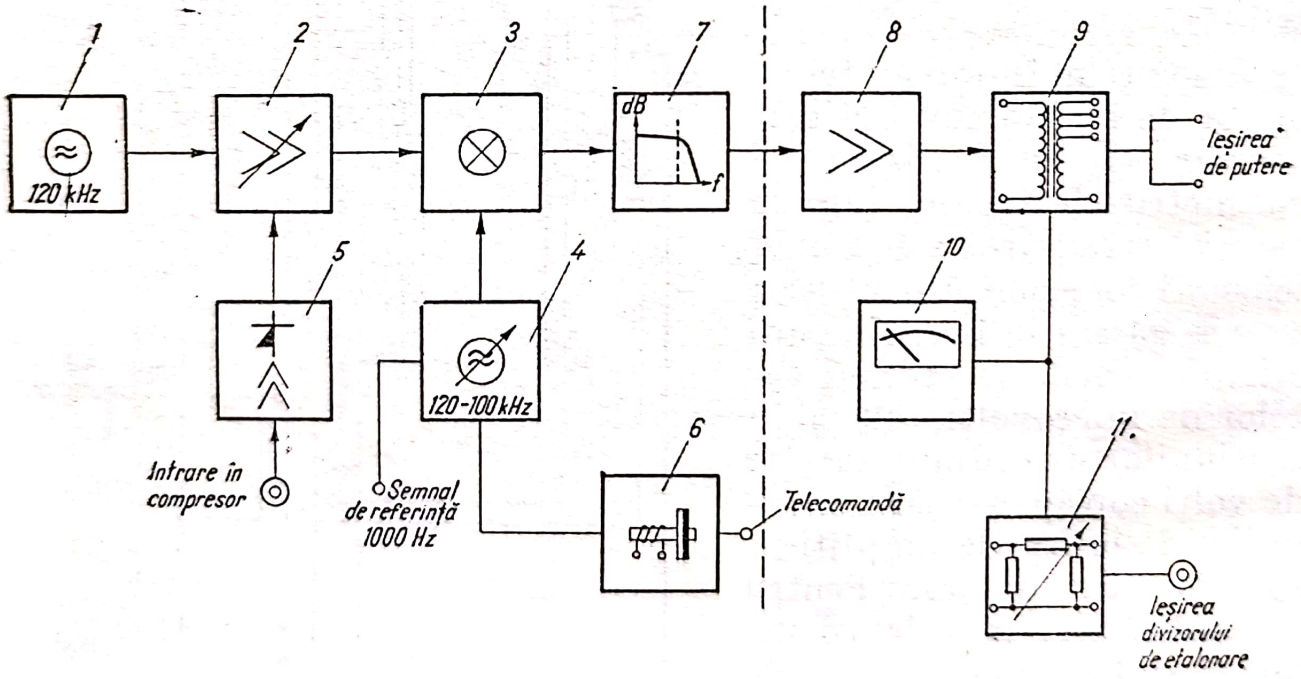


Fig. 6.21. Schema-bloc a generatorului de audiofrecvență Brüel & Kjaer tip 1022:

1 — oscilator fix; *2* — amplificator reglabil; *3* — etaj de mixare; *4* — oscilator variabil; *5* — amplificatorul compresorului; *6* — cuplaj magnetic; *7* — filtru trece-jos; *8* — amplificator de ieșire; *9* — comutator de impedanță; *10* — aparat pentru măsurarea tensiunii de ieșire; *11* — divizor de etalonare.

Scanned with OKEN Scanner

Caracteristicile tehnice ale generatorului de audiofrecvență Brüel & Kjaer tip 1022

Mărimea	Valoarea
Caracteristica de frecvență	20 — 20 000 Hz
Precizia frecvenței	1% ± 1 Hz
Impedanțele de ieșire ale generatorului	6—60—600—6 000 Ω
Liniaritatea caracteristicii de frecvență	în gama 20—20 000 Hz ± 0,3 dB
Factorul de distorsiuni de neliniaritate	0,1%, la f = 1 000 Hz
Nivelul de zgomot	mai bun decît 70 dB
Tensiunea de ieșire reglabilă în trepte de cîte 10 dB (precizia tensiunii de ieșire ± 0,2 dB)	125 μV — 12,5 V

Caracteristicile tehnice ale voltmetrului electronic W.SW.

Mărimea	Valoarea
Domeniul de măsură	7,75 μV (—80 dB) — 245 V (+ 50 dB) în trepte de cîte 10 dB
Domeniul de frecvențe	30 Hz — 100 kHz
Precizia de măsură	30 Hz — 45 kHz ± 0,25 dB 30 Hz — 100 kHz ± 0,5 dB
Zgomotul propriu raportat la intrare pe poziția — 80 dB	mai bun decît 100 dB
Impedanța de intrare – pentru poziția nesimetric – pentru poziția simetric între 30 Hz și 45 kHz	> 1 MΩ aproximativ 20 kΩ

măsură care au caracteristici asemănătoare cu cele ale aparatului Brüel & Kjaer, tip 1607, arătate în cele ce urmează :

Mărimea	Valoarea
Domeniul de frecvenţe	20—63; 63—200; 200—630; 630—2000 2 000—6 300 şi 6 300—20 000 Hz
Precizia scării de frecvenţă	mai bună decît 1%
Caracteristici de atenuare	pe poziţia „distorsiune“ atenuarea benzii de trecere este 20 dB ± 1 dB începînd de la armonica a doua şi pînă la armonica a şaptea a frecvenţei suprimate
Atenuarea frecvenţei suprimate	mai bună decît 80 dB
Impedanţa de intrare	5,5—18 k Ω
Impedanţă externă pe care trebuie conectată puntea	> 100 k Ω
Tensiunea de intrare	⩽ 100 V
Factorul de distorsiuni de neliniaritate măsurabil	⩽ 0,1%, fără amplificator selectiv ⩽ 0,01%, cu amplificator selectiv

Pentru măsurarea performanţelor tehnice ale magnetofoanelor, în afară de echipamentul arătat anterior, se mai utilizează şi aparate pentru determinarea fluctuaţiei de viteză. Valori mari ale factorului de fluctuaţie de viteză au repercusiuni asupra calităţii programului sonor redat.

Unul din aparatele de măsură ale factorului de fluctuaţie de viteză este şi cel de fabricaţie EMT, cu indicativul 420, a cărui schemă-bloc este prezentată în fig. 6.22.

După cum se observă, aparatul cuprinde un generator *1* pentru frecvenţa pilot 3 150 Hz, a cărui ieşire se conectează la aparatul care se măsoară. Ieşirile magnetofonului prin intermediul căruia se redă semnalul avînd frecvenţa pilot şi care este înregistrat pe bandă, se conectează la amplificatorul limitator *2* care, la rîndul lui, este branşat la discriminatorul de fază *3*. Acesta din urmă lucrează în domeniul de frecvenţe 3 150 Hz ± 400 Hz. Urmează dispozitivul *4*, prin intermediul căruia se obţin domeniile de măsură (în număr de 5) cuprinse între ±0,1 şi ±10%. La ieşirea amplificatorului de curent continuu *5*, care este conectat după divizorul pentru limitarea domeniilor de măsură,

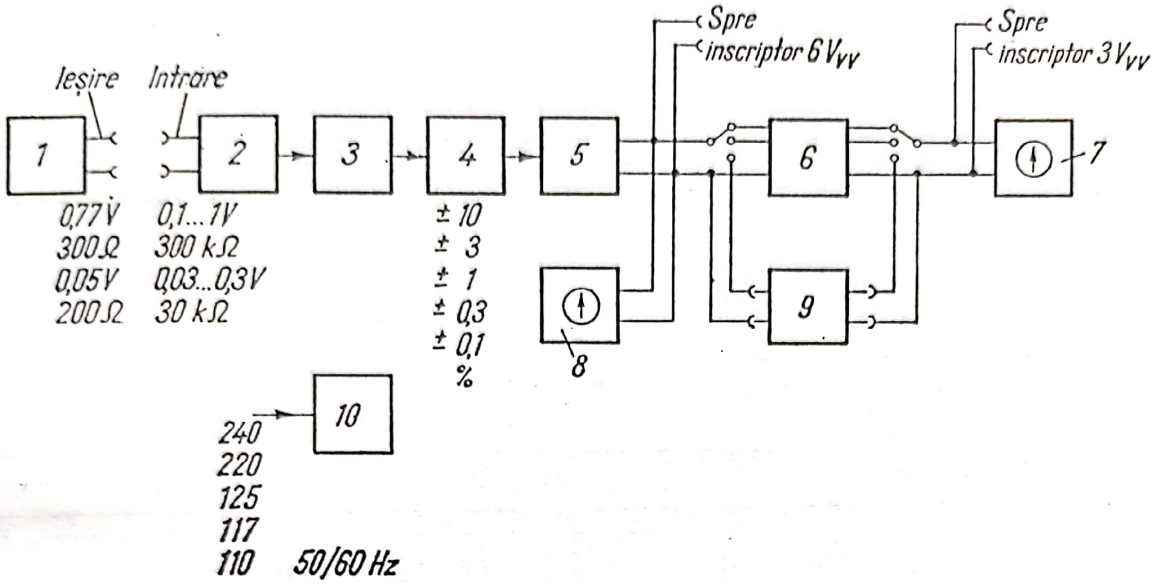


Fig. 6.22. Schema-bloc a aparatului de măsurat fluctuațiile de viteză:

1 — generator de frecvență pilot 3 150 Hz 2 — limitator de amplitudine;; *3* — discriminator de fază; *4* — divizor de domenii de măsură; *5* — amplificator de curent continuu; *6* — filtru ponderator; *7* — indicator de valori de vîrf ale fluctuației de viteză; *8* — indicator de abateri; *9* — filtru extern EMT 421; *10* — etaj de alimentare de la rețea.

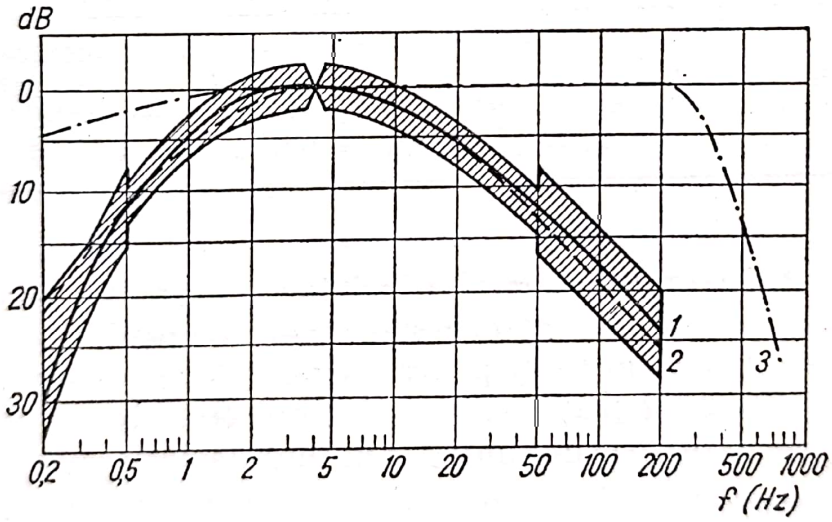


Fig. 6.23. Caracteristicile de atenuare ale filtrului ponderator:

1 — caracteristica proiectată pentru filtrul ponderator DIN 45 507 cu toleranțele limită; *2* — caracteristica de frecvență „ponderată"; *3* — caracteristica de frecvență „lineară".

se pot lega inscriptoare rapide care servesc la înregistrarea și analizarea fluctuațiilor de viteză. De asemenea, aci este conectat și filtrul *6* pentru determinarea valorilor ponderate, a cărui caracteristică potrivit normei DIN 45 507 este dată în fig. 6.23.

Scanned with OKEN Scanner

Caracteristicile tehnice ale acestui aparat de măsură sînt următoarele:

Mărimea	Valoarea
Frecvența-pilot	3 150 Hz ± 2 %
Tensiunea de ieșire a generatorului	{ 0,775 V/300 Ω { 50 mV/200 Ω
Impedanța de intrare a aparatului de măsură	(0,1—1 V)/300 k Ω (0,030—0,3 V)/30 k Ω
Domeniul de măsurare	± 0,1—0,3—1—3—10%
Domeniul de măsurare a modulației perturbatoare	— valori ponderate conform DIN 45 507 cu punct maxim la 4 Hz și atenuare pe octavă de 10 dB pentru frecvențe mai mici decît 4 Hz și de 6 dB pentru frecvențe mai mari decît 4 Hz; — valori neponderate (— 3 dB) 0,4—300 Hz
Posibilități de control și etalonare	— tensiunea de intrare — abaterea de frecvență — frecvența centrală — indicația valorii de vîrf

Pentru înregistrarea precisă a nivelelor semnalelor electrice, într-o instalație electroacustică sînt necesare aparate speciale denumite înregistratoare de nivel. Concepute pentru o gamă largă de frecvențe cuprinse în general între 2 Hz și 200 kHz, aceste înregistratoare permit înscrierea nivelelor fie în funcție de timp, fie în funcție de frecvență. Înscrierea se face sau cu cerneală sau cu un vîrf de safir pe o hîrtie parafinată și liniată sau etalonată în frecvențe. Hîrtia pe care se înregistrează poate avea lățimea de 125 mm (~4″) sau de 73 mm (~2″).

Aparatul este prevăzut cu un comutator de selectare a valorilor semnalului de la intrare (valori de vîrf, valori medii etc.), precum și cu posibilități de alegere a diferitelor viteze de inscripție (15 viteze cuprinse între 4 mm/s și 2 000 mm/s pentru lățimea de hîrtie de 125 mm și între 2 mm/s și 1 000 mm/s pentru lățimea de hîrtie de 73 mm).

Scanned with OKEN Scanner

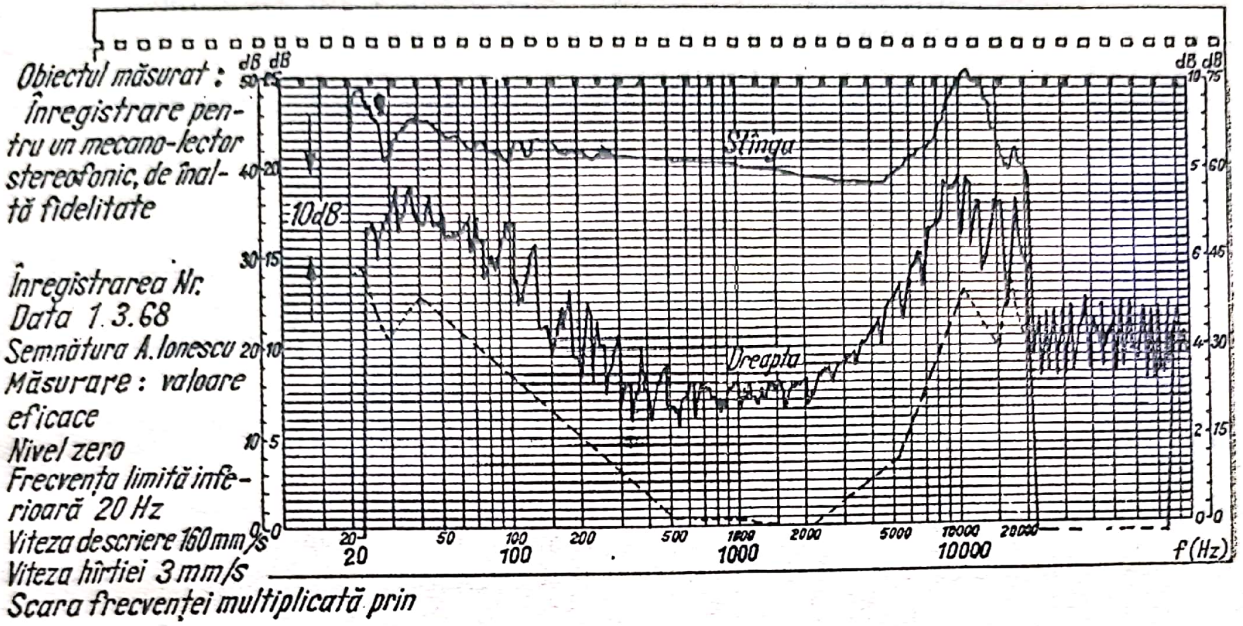


Fig. 6.24. Exemplu de înregistrare (efectuată cu un înregistrator de nivel) a diafoniei între canale la un mecanolector stereofonic.

Se pot alege, de asemenea, și diferite viteze de deplasare a hîrtiei, cuprinse între 0,0003 mm/s și 100 mm/s. În total este posibil să fie folosite 12 viteze de deplasare.

Prin intermediul a 6 potențiometre de intrare, se poate măsura într-o gamă dinamică largă, cuprinsă între 10 dB și 75 dB.

Un exemplu de înregistrare făcută cu un astfel de aparat este prezentat în fig. 6.24.

În tehnica mixării semnalelor electrice, prin intermediul instalațiilor de sonorizare, trebuie să se acorde o importanță la fel de mare respectării și menținerii atît a nivelelor amplitudinii acestora cît și a fazei lor. O inversare a conductoarelor în timpul montajului instalațiilor duce la modificarea fazelor semnalelor electrice, ceea ce poate produce în ultimă instanță, în timpul mixajului, anulări ale unor semnale și deci extincții în programul sonor.

Situația devine mai dificilă în cazul unor echipamente stereofonice, deoarece, așa cum s-a arătat în cap. 5, modificarea fazelor semnalelor electrice determină schimbări ale poziției surselor sonore imaginare. Acesta este motivul pentru care, în ultima vreme, fabricile constructoare au conceput aparate de măsură pentru verificarea rapidă a fazelor

Scanned with OKEN Scanner

Caracteristicile tehnice ale aparatului de măsură tip EMT-160

Generatorul de impulsuri	
Amplitudinea impulsului acustic	300 μb
Amplitudinea impulsului electric	1 mV, 100 mV, 1 V, 9 V.

Indicatorul fazei semnalului	
Tensiunea de intrare	200 mV — 100 V
Impedanța de intrare	aproximativ 10 kΩ
Semnalizări optice	Lampă verde: fază corectă Lampă roșie: fază inversată

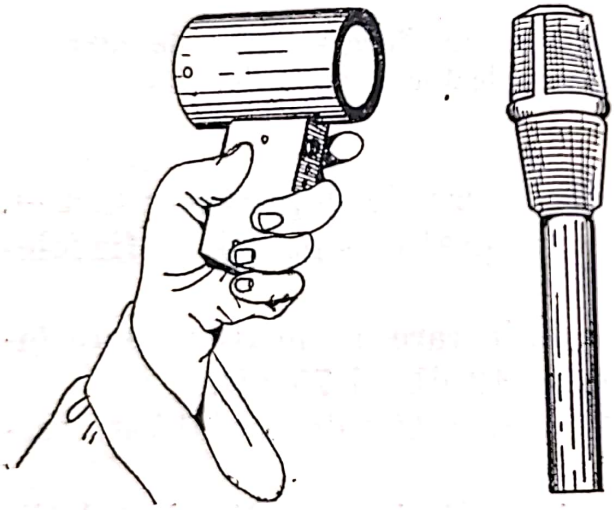


Fig. 6.25. Aparat tip EMT-160 pentru verificarea rapidă a fazelor unor semnale.

și deci pentru depistarea greșelilor de montaj. Un astfel de aparat tip EMT - 160 (fig. 6.25) are caracteristicile arătate în tabel.

Datorită faptului că generatorul poate produce atît impulsuri electrice cît și impulsuri acustice cu diferite amplitudini, posibilitățile de utilizare ale acestui aparat de măsură sînt multiple. În fig. 6.26 sînt prezentate patru situații de folosire a acestui aparat.

Aparatele de măsură arătate mai înainte reprezintă principalul echipament cu care ar trebui să fie dotate laboratoarele destinate întreținerii și depanării instalațiilor electroacustice. Bineînțeles că, pe lîngă acest utilaj de măsură, în funcție de complexitatea instalațiilor, se mai pot adăuga osciloscoape, microfoane etalon pentru măsurări în camere anecoice, dispozitive rotitoare pentru măsurarea caracteristicilor de directivitate ale difuzoarelor, fonometre pentru determinarea nivelului acustic din încăperile sonorizate ș.a.

Scanned with OKEN Scanner

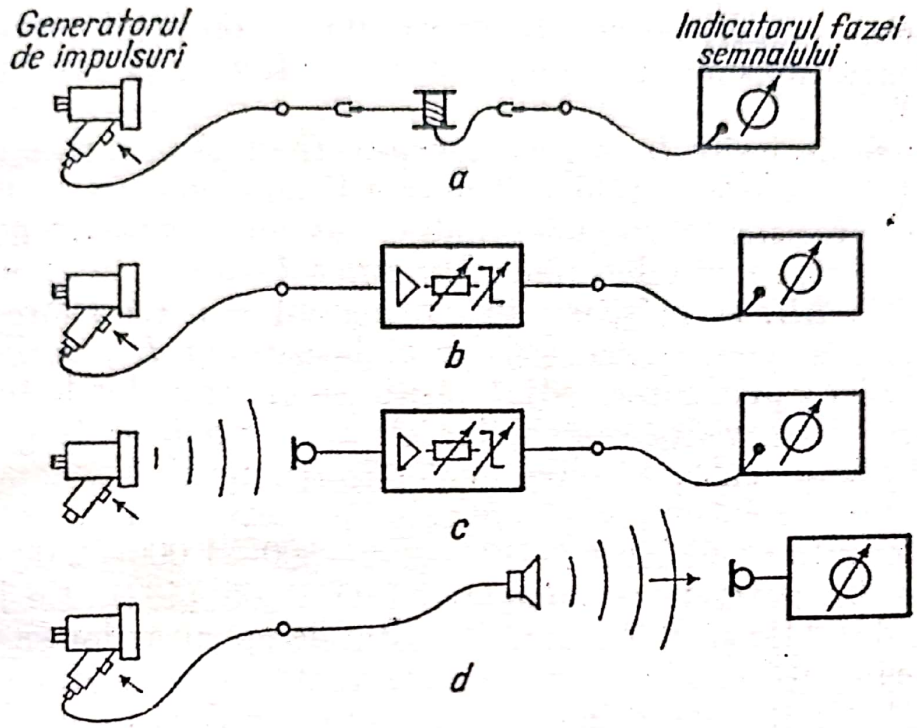


Fig. 6.26. Utilizarea aparatului EMT-160:
a, *b* — verificări cu impulsuri electrice; *c*, *d* — verificări cu impulsuri acustice.

6.3.2. *Măsurarea principalilor parametri tehnici ai instalațiilor electroacustice de sonorizare*

Realizarea unor sonorizări cu calitate tehnică corespunzătoare implică efectuarea unor măsurări ale parametrilor instalațiilor atît în faza imediat următoare terminării montajului cît și după intrarea în funcțiune a instalației, ele avînd un caracter profilactic.

Principalii parametri care se măsoară și principalele determinări care se fac în mod periodic sînt: caracteristica de frecvență, factorul de distorsiuni liniare și de neliniaritare, raportul semnal/zgomot, atenuarea de diafonie, determinarea fazei (în special pentru instalațiile stereofonice), determinarea factorului de fluctuație de viteză.

Uneori mai este necesar să se execute și alte categorii de măsurări, cum ar fi, de exemplu, cele pentru determinarea impedanțelor de intrare și de ieșire, pentru determinarea amplificării unui lanț electroacustic, pentru determinarea puterii nominale a amplificatoarelor de putere.

Scanned with OKEN Scanner

Măsurarea caracteristicii de frecvență a lanțului electroacustic. Schema pentru măsurarea caracteristicii de frecvență este prezentată în fig. 6.27.

Tensiunea de ieșire U_0 a generatorului G va fi păstrată constantă, instrumentul de control fiind voltmetrul V_1. În serie cu generatorul G se montează rezistența R_q asigurîndu-se astfel o valoare corespunzătoare pentru impedanța de sursă. Tensiunea U_i de la intrarea lanțului electroacustic LE, se măsoară cu voltmetrul V_2. La ieșirea lanțului electroacustic se conectează rezistența de sarcină R_s, osciloscopul O și voltmetrul V_3 prin intermediul căruia se citesc valorile tensiunii de ieșire. Variind frecvența semnalelor electrice produse de generator și menținînd $U_0 = \text{const}$, se citesc valorile tensiunii U_e.

Frecvențele de măsură se pot lua fie la intervale de o octavă, începînd cu frecvența de 63 Hz (63—125—250—500—1 000—2 000—4 000—8 000—16 000), potrivit recomandării ISO R266 (402), fie la frecvențele limită de 60 Hz și 16 000 Hz. Rezultatele măsurărilor se precizează prin abaterile față de nivelul de la o frecvență centrală din spectrul de frecvențe (1 000 Hz) sau printr-o reprezentare grafică în care se înscriu în ordonată valorile tensiunilor sau ale nivelelor de tensiune (pe o scară liniară), iar în abscisa gradată logaritmic, frecvențele.

Este necesar să se menționeze că pentru un lanț electroacustic care asigură redarea cu înaltă fidelitate a programelor sonore, abaterile nivelelor în funcție de frecvență, raportate la nivelul corespunzător frecvenței de 1 000 Hz, trebuie să se înscrie într-o plajă de 0,8—1 dB.

Măsurarea factorului de distorsiuni armonice. Determinarea valorilor factorilor de distorsiuni armonice este posibilă prin realizarea unei scheme de măsură ca cea din fig. 6.28.

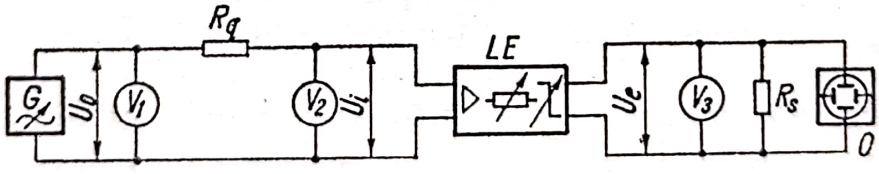


Fig. 6.27. Schema folosită pentru măsurarea caracteristicii de frecvență a unui lanț electroacustic.

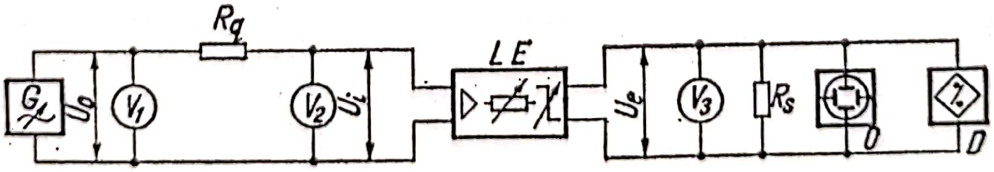


Fig. 6.28. Schema folosită pentru măsurarea factorului de distorsiuni armonice al unui lanț electroacustic.

Ea este asemănătoare cu cea utilizată pentru determinarea caracteristicii de frecvență, cu deosebire că la ieșirea cuadripolului, respectiv a lanțului electroacustic, se conectează și un distorsiometru D.

Una din metodele de măsură s-a stabilit pe baza relației (3.1).

Precizarea valorilor de distorsiuni se poate face, pentru o informare generală, numai la o singură frecvență, și anume la $f = 1\,000$ Hz. Pentru determinări mai precise este totuși recomandabil ca aceste măsurări să se facă și la cele două frecvențe limită 30 Hz și 16 kHz. De asemenea, este preferabil să se măsoare factorul de distorsiuni armonice pentru diferite valori ale tensiunii de intrare U_i și ale tensiunii de ieșire U_e.

O instalație de sonorizare de înaltă calitate tehnică va prezenta pentru întregul lanț electroacustic, — cu excepția traductoarelor de la intrarea și ieșirea sa, — un factor de distorsiuni armonice inferior valorii de 0,5%, în toată gama frecvențelor audibile.

Măsurarea raportului semnal/zgomot. Determinarea raportului semnal/zgomot se efectuează cu o instalație de măsură de tipul celei indicate în fig. 6.29.

Prin măsurare se determină tensiunea nominală de ieșire U_e a lanțului electroacustic care, în majoritatea cazurilor, este de 1,55 V (+6 dB) și tensiunea de zgomot U_{zg}. Prima se determină așezînd comutatorul C din instalația din fig. 6.29 în poziția *1*, iar cea de-a doua scoțînd din circuit generatorul G prin trecerea comutatorului C pe poziția *2*.

Valoarea, în dB, a nivelului de zgomot L_{zg} se obține cu relația:

$$L_{zg} = 20 \lg \frac{U_0}{U_{zg}} \text{ [dB]}. \qquad (6.4)$$

în care U_0 poate fi atît tensiunea de referință $U_{ref} = 0{,}775$ V cît și tensiunea de ieșire U_e.

Valorile ponderate se obțin prin includerea în instalație a unui filtru avînd o caracteristică asemănătoare cu curbele de sensibilitate a urechii (v. fig. 6.23).

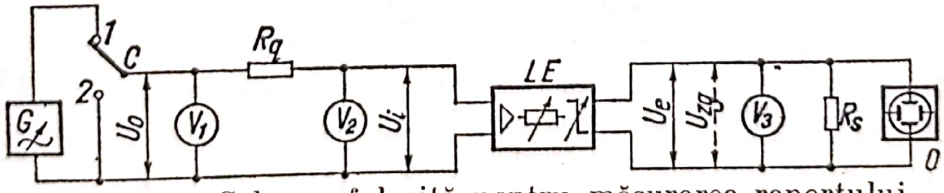


Fig. 6.29. Schema folosită pentru măsurarea raportului semnal / zgomot al unui lanț electroacustic:

LE — lanțul electroacustic al cărui raport semnal/zgomot se măsoară; *C* — comutator cu două poziții *1*, *2*; *G* — generator de audiofrecvență; R_q — impedanța de sursă; R_s — impedanța de sarcină; V_1, V_2, V_3 — voltmetre electronice; *O* — osciloscop catodic.

La instalațiile electroacustice de înaltă calitate, în cazul în care tensiunea de referință este 0,775 V, se găsesc pentru L_{zg} valori de minimum 60 dB, nivelele de tensiune la intrarea lanțului electroacustic fiind de aproximativ 63 dB.

Măsurarea atenuării de diafonie. Prin atenuare de diafonie se înțelege valoarea în decibeli a logaritmului raportului dintre:

a) tensiunea de ieșire U_{e_1} a unui lanț electroacustic căruia i se aplică la intrare un semnal de frecvență precizată — în general 10 kHz — (la ieșirea lanțului este conectată impedanța nominală de sarcină);

b) tensiunea de ieșire U_{e_2} a unui lanț electroacustic adiacent, a cărui intrare este închisă pe impedanța nominală de sursă (întocmai ca și ieșirea sa), fără a i se aplica însă vreun semnal. Măsurarea celor două tensiuni de ieșire se face prin intermediul unui amplificator selectiv, acordat pe frecvența semnalului aplicat primului lanț electroacustic. În mod obișnuit, în gama frecvențelor audibile, această diafonie are valori de minimum 85 dB.

Măsurarea diferenței de fază. Determinarea diferenței de fază este necesară în special la instalațiile electroacustice de sonorizare stereofonice, cunoscut fiind faptul că modificarea fazei semnalelor electrice într-o astfel de instalație produce deformări ale imaginii sonore. Schema instalației din fig. 6.30 cuprinde generatorul de audiofrecvență G, care se conectează la intrările celor două lanțuri electroacustice ce se măsoară. Ieșirile lanțurilor se leagă la plăcile verticale și orizontale ale

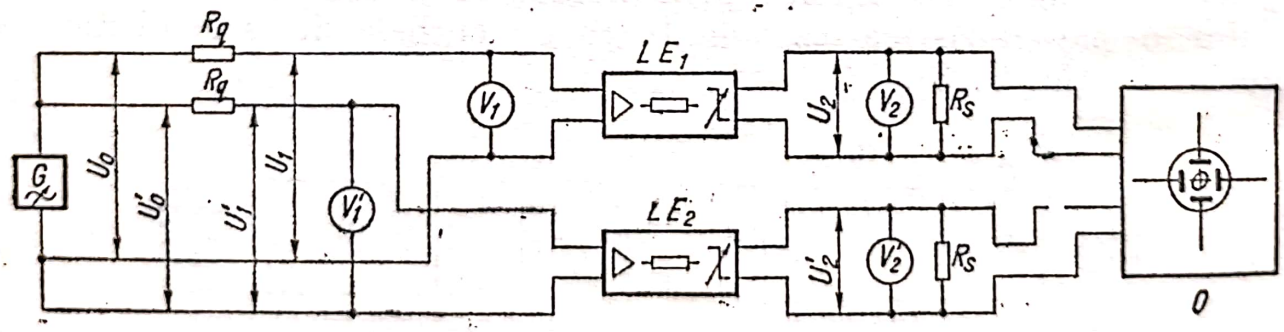


Fig. 6.30. Schema folosită pentru măsurarea diferenței de fază:

LE_1, LE_2 — lanțurile electroacustice a căror diferență de fază a semnalelor se măsoară; — G generator de audiofrecvență; R_q — impedanța de sursă; R_s — impedanța de sarcină; V_1, V'_1 V_2, V'_2 — voltmetre electronice; O —osciloграf catodic pentru vizualizarea diferenței de fază prin metoda figurilor Lissajoux.

Scanned with OKEN Scanner

unui osciloscraf. Imaginea care se obține pe ecranul osciloscrafului este asemănătoare cu cea din fig. 6.31.

Diferența de fază este dată de relația:

$$\sin\varphi = \frac{Y_1}{Y}. \qquad (6.5)$$

Se poate măsura diferența de fază în toată gama frecvențelor audibile, cu condiția ca tensiunile ce se aplică osciloscrafului să aibă valori constante.

Valoarea diferenței de fază la o instalație stereofonică de foarte bună calitate nu trebuie să depășească 3° în gama de frecvențe cuprinsă între 30 Hz și 15 kHz.

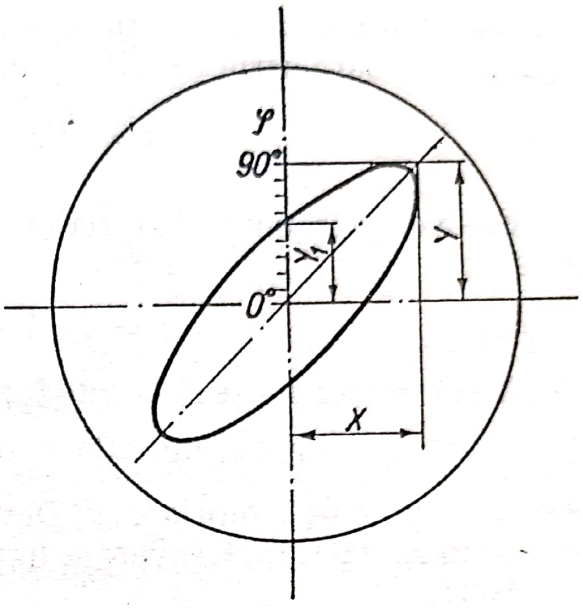


Fig. 6.31. Oscilogramă pentru determinarea diferenței de fază între tensiunile de la ieșirea a două lanțuri electroacustice.

Măsurarea factorului de fluctuație de viteză a magnetofoanelor. Pentru a înțelege procedeul de măsurare al factorului de fluctuație de viteză este necesar să se facă anumite considerații de ordin general. Astfel, dacă s-ar dispune de un magnetofon cu un sistem mecanic de antrenare perfect, frecvența (înălțimea) unui sunet cu lungimea de undă λ, înregistrat și redat de pe bandă, ar putea fi determinată cu relația:

$$f_0 = \frac{V_0}{\lambda}, \qquad (6.6)$$

în care: f_0 este frecvența semnalului electric înregistrat;
V_0 — viteza de deplasare a benzii de magnetofon;
λ — lungimea de undă a semnalului.

Deoarece în practică sistemul de antrenare a benzii de magnetofon nu poate asigura o viteză de derulare constantă a acesteia, introducînd modificări exprimate prin cantitatea ΔV_0, rezultă variații de înălțime pentru sunetul redat care se pot exprima prin relația:

$$f_0 + \Delta f = \frac{V_0 + \Delta V_0}{\lambda}. \qquad (6.7)$$

Dacă se consideră cazul cel mai simplu al unei fluctuații de viteză periodică, rezultată din rotirea excentrică a unui ax de antrenare a ben-

zii, avînd o viteză unghiulară ω_n, și a cărui excentricitate procentuală este a, se poate scrie că viteza instantanee este:

$$v = V_0 (1 + a \sin \omega_n t). \tag{6.8}$$

Frecvența semnalului redat de pe bandă se poate determina cu relația:

$$f = f_0 (1 + a \sin \omega_n t). \tag{6.9}$$

Acest proces reprezintă, de fapt, o modulație de frecvență a frecvenței f_0, cu o frecvență modulatoare f_n, definită prin relația $f_n = \frac{\omega_n}{2\pi}$ și avînd un grad de modulație a. Deviația de frecvență Δf, corespunzătoare aceste modulații de frecvență, depinde de gradul de modulație conform relației:

$$\Delta f = f_0 a. \tag{6.10}$$

Rezultă, deci, că măsurarea fluctuației de viteză, respectiv a deviației de frecvență a unei frecvențe pilot f_0, înregistrată pe bandă, se poate face folosind mijloacele proprii modulației de frecvență.

Fluctuațiile de viteză sînt indicate și înregistrate ca și gradele de modulație:

$$a = \pm \frac{\Delta f}{f_0} 100 \quad [\%]. \tag{6.11}$$

Experimental s-a constatat că banda de frecvențe cuprinsă între 0,2 Hz și 200 Hz prezintă, din punctul de vedere al fluctuației de viteză, o importanță deosebită.

Maximul sesizabil se situează în regiunea frecvenței de 4 Hz.

Măsurarea factorului de fluctuație de viteză constă deci în înregistrarea frecvenței pilot de 3 150 Hz și în reproducerea ulterioară a semnalului înregistrat, aparatul de măsură fiind conectat la ieșirea magnetofonului.

Performanțele acestui aparat au fost prezentate în § 6.3.1.

Este necesar să se arate că prin norme internaționale sau prin standarde de stat s-au stabilit valorile limită ale factorului de fluctuație de viteză în funcție de clasa magnetofonului (profesional și de amatori) și în funcție de viteza de derulare a benzii. Pentru exemplificare se precizează valorile indicate în standardul DIN 45511:

Scanned with OKEN Scanner

Mărimea \ Clasa magnetofonului	Profesional			De amatori			
Viteza de derulare a benzii, cm/s	76	38	19	19	9,5	4,75	2,4
Factorii de fluctuație de viteză, %	± 0,15	± 0,15	± 0,25	± 0,3	± 0,5	± 0,9	± 1,5

Măsurarea amplificării unui lanț electroacustic. Prin amplificarea unui lanț electroacustic exprimată în decibeli, se înțelege logaritmul raportului dintre tensiunea de ieșire U_e a acestui lanț conectat pe rezistența de sarcină R_s și tensiunea de intrare U_i cînd la intrare în lanț se conectează rezistența de sursă R_q.

Expresia matematică a amplificării C a lanțului are forma:

$$C = 20 \lg \frac{U_e}{U_i} \quad [\text{dB}]. \tag{6.12}$$

Schema instalației de măsură este prezentată în fig. 6.27.

Determinarea puterii nominale a amplificatoarelor de putere. Prin putere nominală se înțelege puterea electrică debitată de un amplificator de putere cînd i se conectează la ieșire rezistența de sarcină nominală și cînd i se aplică la intrare un semnal sinusoidal. Cunoscîndu-se tensiunea de ieșire U_e a amplificatorului (în majoritatea cazurilor 100 V) și rezistența de sarcină R_s, puterea electrică nominală $\mathcal{P}_e$ va rezulta din expresia:

$$\mathcal{P}_e = \frac{U_e^2}{R_s}. \tag{6.13}$$

Schema utilizată pentru măsurarea puterii nominale este cea prezentată în fig. 6.27, procedeul de măsură constînd în mărirea tensiunii de intrare U_i pînă la obținerea unei tensiuni de ieșire U_e corespunzătoare factorului de distorsiuni de neliniaritate indicat în prospectul aparatului. Cu ajutorul relației (6.13) și a valorilor parametrilor măsurați se determină puterea $\mathcal{P}_e$.

În cadrul acestui capitol nu s-a tratat partea referitoare la difuzoare, deoarece condițiile generale de măsurare și de încercare ale acestora, aparatura utilizată pentru măsurări și metodele de măsurare și încercare sînt precizate în STAS E 7061-64.

Scanned with OKEN Scanner

6.4. Amplificatoare de putere utilizate în instalațiile de sonorizare

Unul din principalele elemente ale echipamentului de sonorizare îl constituie amplificatorul de putere. Utilizat după caz, conectat fie direct la sursele de program, fie prin intermediul unei instalații de mixaj, principalul său parametru, puterea electrică, se stabilește în funcție de mărimea spațiului care se sonorizează și de numărul și puterea surselor sonore.

Deoarece există situații cînd construirea acestui amplificator este mai ușor de realizat decît procurarea lui din comerț, în cele ce urmează sînt prezentate schemele unor amplificatoare de putere care diferă fie prin valoarea puterii electrice, fie prin posibilitățile de folosire ce le oferă.

Amplificatorul de ascultare de 8 W, tranzistorizat, tip WSW, Kenn nr. 811471. Schema acestui amplificator este prezentată în fig. 6.32.

După cum se observă, semnalul aplicat la intrare este transmis prin transformatorul de intrare Tr_1 la cele două tranzistoare de intrare TF 78/60/IV. Acest etaj este urmat de un transformator intermediar Tr_2 care schimbă impedanțele și care realizează cuplajul dintre primul și al doilea etaj. Pentru ridicarea valorii impedanței de intrare s-a prevăzut o reacție paralel de la emitorul ultimului etaj.

Punctele de funcționare ale tranzistoarelor din schemă sînt stabilizate cu ajutorul termistoarelor R_2, R_8 și R_{13}, a căror valoare este indicată în schemă.

Pentru protecția în funcționare a etajului format din tranzistoarele T_3 și T_4 ($2 \times$ TF 78/60/V), în baza fiecăruia s-au dispus diodele de protecție OA85 și dioda Zener Red 5, SZ10.

De asemenea, la etajul final, format din tranzistoarele T_5 și T_6 ($2 \times$ 2N1905) pentru protecția joncțiunii bază-emitor, în eventualitatea aplicării unor semnale mari, s-a prevăzut circuitul limitator format din diodele OA85 și rezistența R_{16}, respectiv R_{17}.

Etajul final este alimentat prin transformatorul intermediar Tr_3, care are impedanța de ieșire foarte mică.

Transformatorul de ieșire Tr_4 asigură o simetrie riguroasă și pierderi minime datorită unei înfășurări speciale cu care este prevăzut.

Toate etajele sînt în contratimp.

Performanțele tehnice ale acestui amplificator sînt prezentate în tabelul 6.3.

Scanned with OKEN Scanner

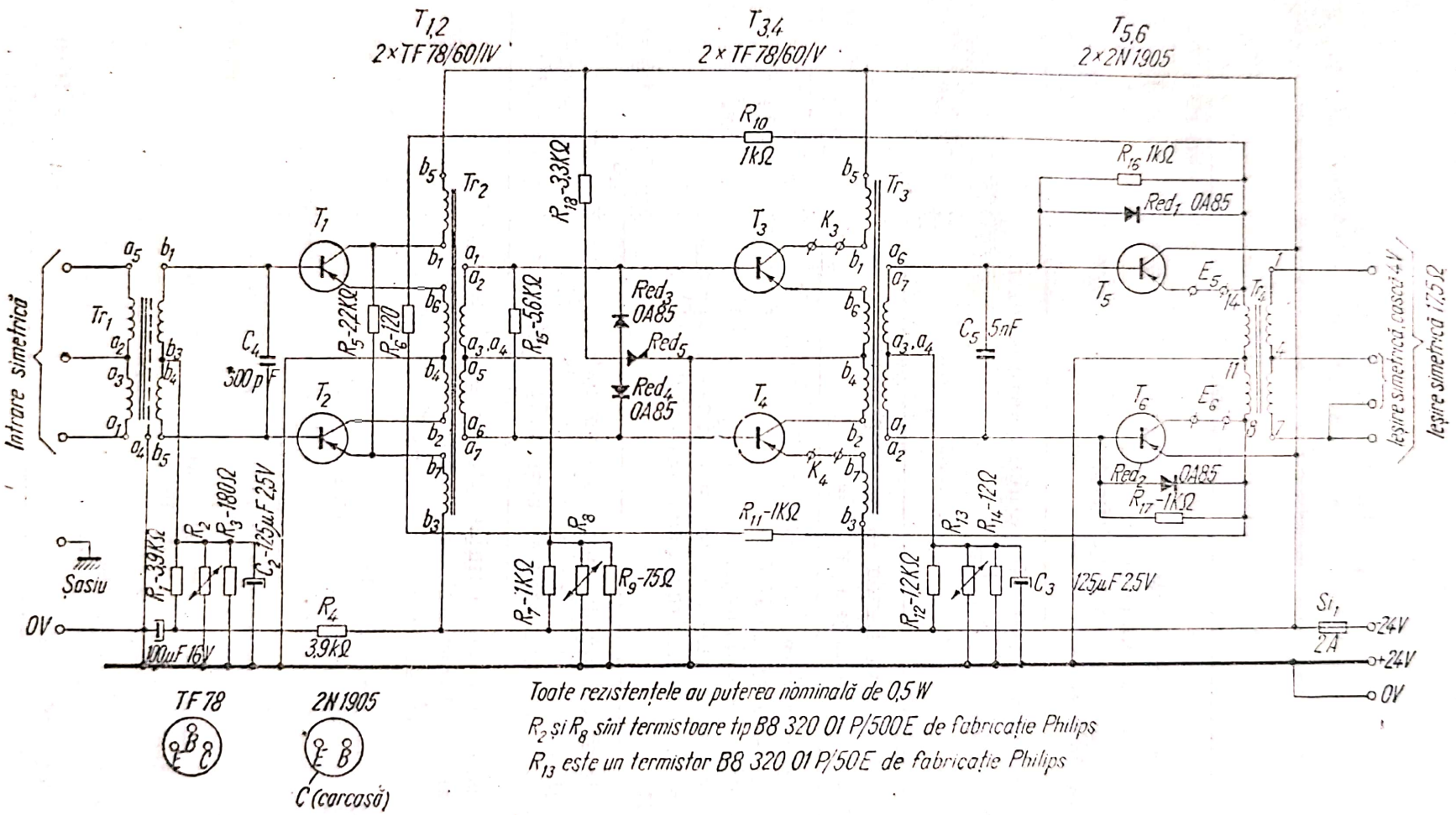


Fig. 6.32. Amplificatorul de ascultare de 8 W, tranzistorizat, tip WSW, Kenn nr. 811 471.

Tabelul 6.3

Caracteristicile amplificatorului de 8 W tip WIENER SCHWACHSTROM WERKE (WSW)

Mărimea	Valoarea
Tensiunea continuă de alimentare: Curentul fără existența semnalului: Curentul cînd există semnal și amplificatorul furnizează o putere la ieșire de 8 W	24 V 150 mA 700 mA
Sensibilitatea la intrare a amplificatorului pentru o putere la ieșire de 8 W la $f = 1\,000$ Hz	1,55 V + 0% — 20% +6 dBm + 0 dB — 2 dB
Impedanța de intrare, în banda de frecvențe 30 Hz — 15 kHz, măsurată la puterea nominală	$\geqq 10$ kΩ
Tensiunea de ieșire la puterea nominală de 8 W și cu o rezistență de măsurare (sarcină) de 15 Ω Impedanța de ieșire în banda de frecvențe 30 Hz—15 kHz Tensiunea ce poate fi livrată la ieșirea pentru cască; această ieșire este închisă pe o rezistență de măsurare de 10 Ω, la $f = 1\,000$ Hz	11 V $\leqslant 8$ Ω 4 V
Caracteristica de frecvență la puterea nominală, cu o rezistență de sursă $R_g \leqslant 600$ Ω și o rezistență de sarcină $R_s = 15$ Ω, ridicată în banda de frecvențe 30 Hz—15 kHz	Abaterea în bandă $\leqslant 2$ dB
Factorul de distorsiuni de neliniaritate în cazul unei tensiuni de intrare constantă, puterea nominală la 1 000 Hz, o rezistență de sursă $R_g \leqslant 600$ Ω și o rezistență de sarcină $R_s = 15$ Ω — în banda de frecvențe: 60 Hz — 5 kHz — în banda de frecvențe 60 Hz — 15 kHz	 $< 1\%$ $< 1{,}5\%$ $< 3\%$
Raportul semnal/zgomot —raportat la o putere de ieșire de 8 W (11 V) măsurat cu o rezistență de sarcină de 15 Ω: — raportat la o putere de ieșire de 200 mW (1,7 V), măsurat cu o rezistență de sarcină de 15 Ω	 > 92 dB > 75 dB
Temperatura admisibilă a mediului ambiant	— 10 ... +45°C
Dimensiunile amplificatorului	78 mm × 167mm × 250 mm
Greutatea	circa 3,10 kg

Scanned with OKEN Scanner

Amplificatorul stereofonic, tranzistorizat QUAD-ACOUSTICAL de 2×28 W (16 Ω) sau 2×45 W (8 Ω) Ansamblul de amplificare stereofonic al firmei QUAD-ACOUSTICAL foloseşte tranzistoare cu siliciu. El se compune dintr-un preamplificator „QUAD 33" şi dintr-un amplificator de putere „QUAD 303". Fiecare canal stereofonic este realizat pentru o putere electrică de 45 W. Rezistenţa de sarcină este de 8 Ω, factorul de distorsiuni armonice 0,03% la frecvenţa de 700 Hz şi caracteristica de frecvenţă (în banda 30 Hz — 30 kHz) cu o abatere de —1 dB.

Ansamblul de amplificare este realizat cu dimensiuni reduse şi utilizează module interşanjabile.

Schema de principiu a preamplificatorului QUAD 33 este prezentată în fig. 6.33. Curba de răspuns a acestuia este conform caracteristicii RIAA sau CEI-3 (folosită aproape exclusiv în cazul discurilor microşanţ), amplificarea fiind reglată printr-o contrareacţie globală.

Originalitatea constructivă a preamplificatorului constă în realizarea unui modul de formă pătrată, având circuite imprimate.

Acesta are pe toate cele patru laturi ale sale posibilităţi de efectuare a conexiunilor şi poate fi introdus în montajul preamplificatorului în patru moduri diferite. Prin aceasta este creată posibilitatea adaptării preamplificatorului la diferite mecanolectoare, şi anume: mecanolectoare

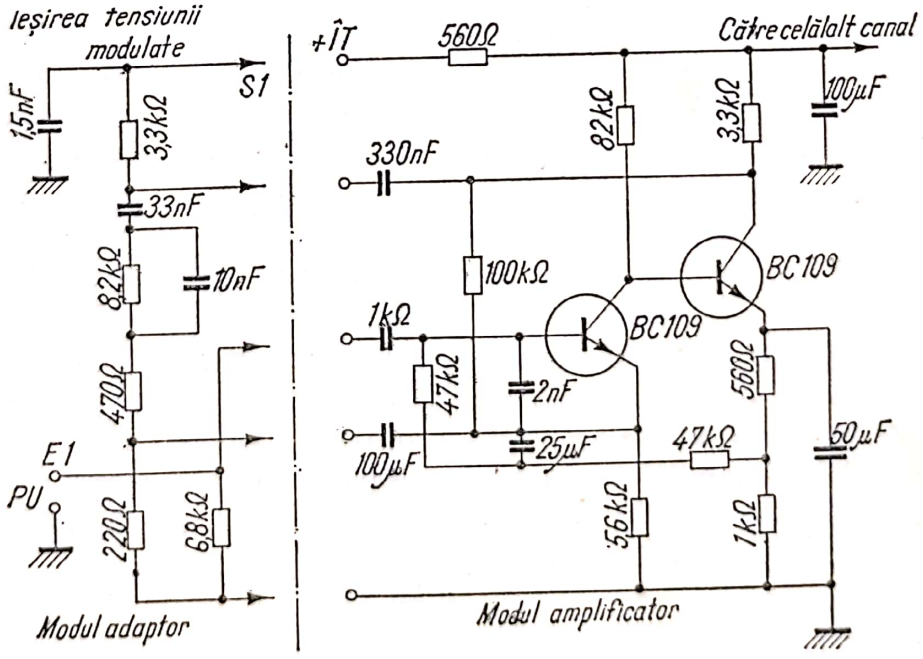


Fig. 6.33. Preamplificatorul QUAD 33.

magnetice, de mică sensibilitate (maximum 2 mV/cm/s), mecanolectoare magnetice de mare sensibilitate (maximum 4—5 mV/cm/s) și ceramice (100 mV/cm/s). O a patra posibilitate de conectare este lăsată la dispoziția celui care utilizează ansamblul conform dorințelor individuale.

Preamplificatorul mai conține și un etaj intermediar adaptor de impedanțe (fig. 6.34), realizat cu tranzistorul cu siliciu BC109, montat cu colectorul comun și care este conectat la sursele de modulație de nivel mare (radioreceptor și magnetofon). În acest caz se utilizează, de asemenea, modulul interșanjabil care oferă posibilitatea de schimbare rapidă a trei valori ale impedanțelor și tensiunilor de ieșire.

În preamplificator există și un etaj corector de tonalitate realizat cu trei tranzistoare (2 × BC109 și 1 × BC114) (fig. 6.35).

Ultimul tranzistor BC114, într-un montaj cu colectorul comun, prezintă o impedanță de ieșire mică, convenabilă pentru atacarea circuitelor corectoare și a celor exterioare. Corectorul posedă o contrareacție globală. Frecvențele mai mici decît 20 Hz sînt atenuate foarte puternic (cu 24 dB/octavă). Reglajul echilibrului între nivelele electrice ale celor două canale se obține prin variația cîștigului etajului corector, modificîndu-se gradul de contrareacție. La ieșire se găsește un filtru trece-jos cu pantă de atenuare reglabilă, cu frecvențele de tăiere nominale de 10 kHz, 7 kHz și 5 kHz. Există și posibilitatea de a ocoli corectoarele și filtrele.

Preamplificatorul QUAD 33 este prevăzut cu alimentare autonomă. Transformatorul său de rețea are dimensiuni mici și este bine ecranat. Curentul obținut prin redresarea celor două alternanțe este filtrat cu rezistențe și condensatoare și reglat cu ajutorul unei diode Zener.

Amplificatorul de putere QUAD 303 (fig. 6.36) conține două tranzistoare de putere T_8 și T_9 tip 2N3055 sau 38494, care sînt conectate la etajul inversor de fază echipat cu tranzistoarele T_4 și T_5. Acestea sînt legate cu încă două tranzistoare auxiliare de semiputere T_6 și T_7 (pentru a mări cîștigul fiecărei părți a etajului în contratimp de la ieșire). În acest fel inversorul de fază lucrează cu nivel electric mic, păstrînd o plajă de siguranță în timp ce se obține o reducere a cîștigului în curent în funcție de frecvență pentru tranzistoarele T_8 și T_9 care au un curent de colector mare. Prin introducerea unei reacții locale prin (rezistența 0,3 Ω), tranzistoarele de putere sînt mai bine protejate împotriva șocurilor termice și în același timp liniarizate în ceea ce privește performanțele.

Cele două diode protectoare D_5 și D_6 conduc semnalul de atac direct către sarcină în cazul în care, dintr-un motiv oarecare, variația ten-

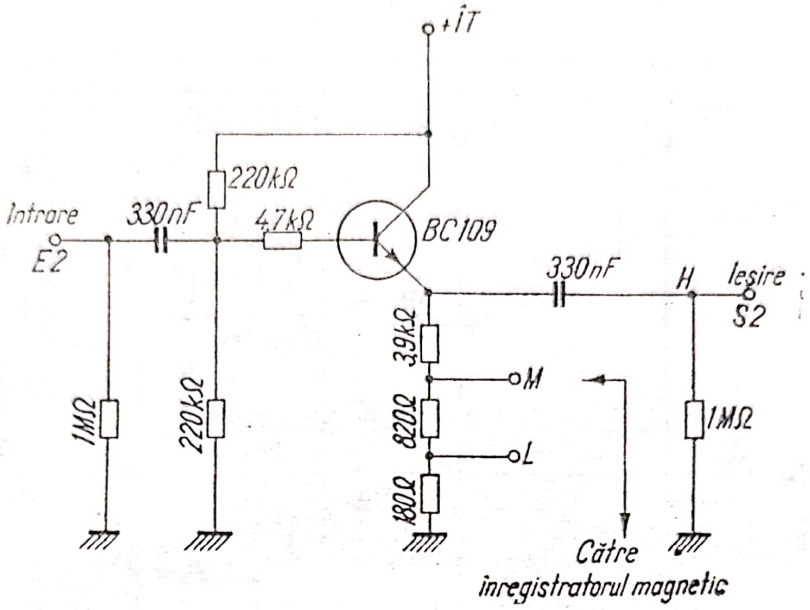


Fig. 6.34. Etaj intermediar repetor pe emitor.

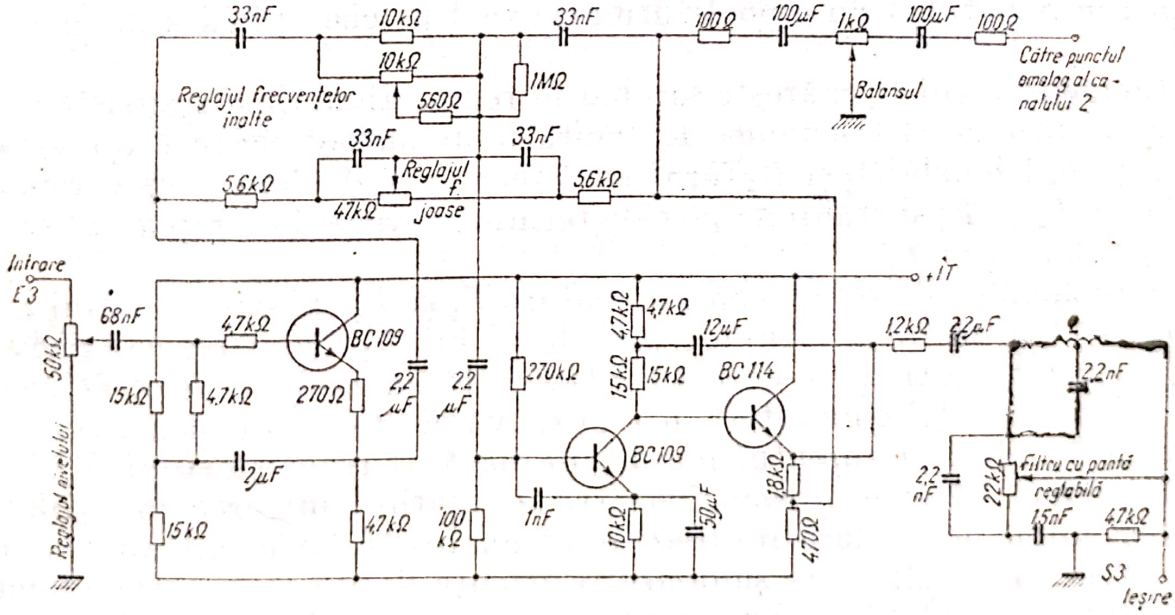


Fig. 6.35. Corectorul de tonalitate cu reacție al preamplificatorului.

Scanned with OKEN Scanner

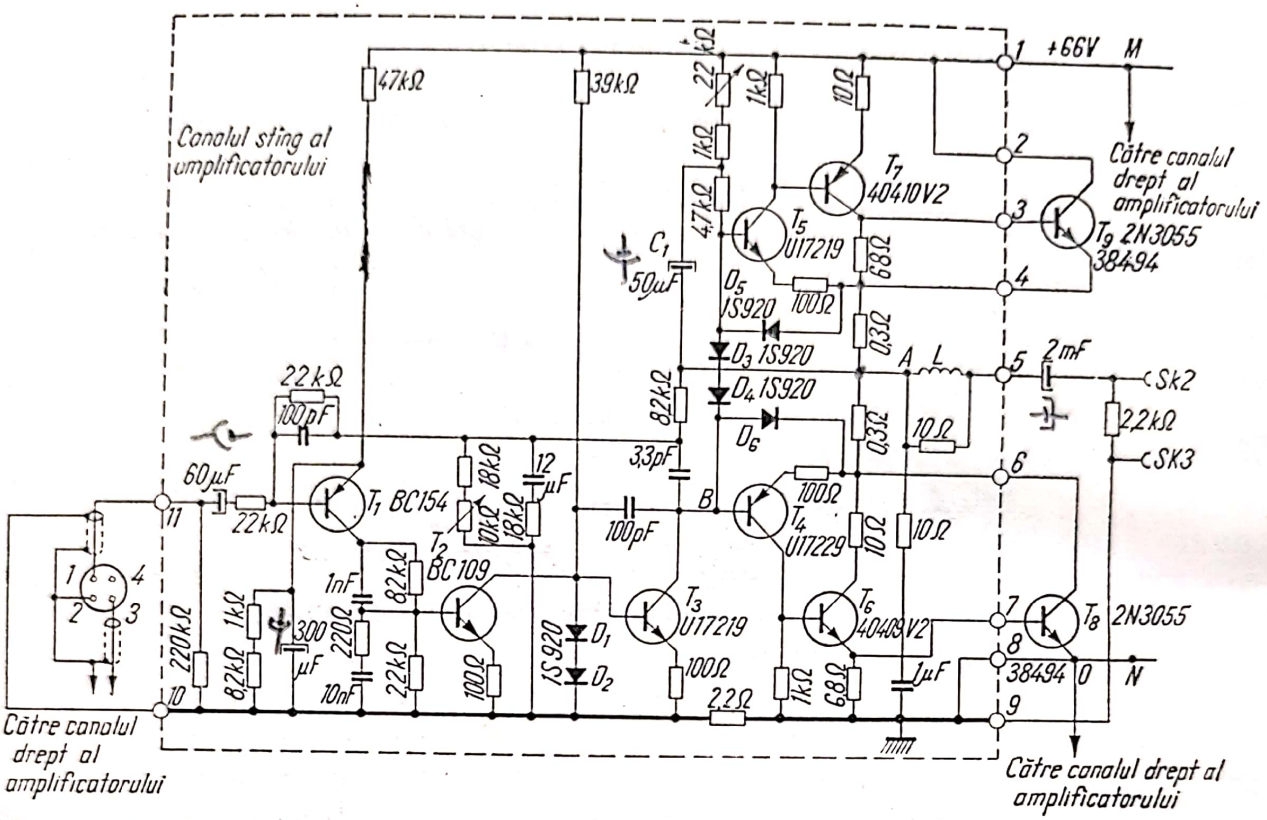


Fig. 6.36. Canal al amplificatorului de putere QUAD-303 (elementele din interiorul dreptunghiului figurat prin linie întreruptă sînt grupate într-un modul cu circuite imprimate).

siunii în punctul A nu o poate urmări exact pe cea aplicată în punctul B.

Condensatorul C_1 mărește sarcina în regim dinamic a tranzistorului T_3 care furnizează tensiunea de excitație de audiofrecvență a etajelor de putere. Diodele D_3 și D_4 furnizează tensiunea de deblocare a tranzistoarelor T_4 și T_5 și stabilesc pe cale termică curentul de repaos al tranzistoarelor T_7 și T_8.

Alte două tranzistoare complimentare T_1 și T_2 constituie etajul preamplificator de intrare supus, prin baza lui T_1, unei reacții globale în curent alternativ și în curent continuu. Două diode în serie D_1 și D_2 limitează oscilațiile de alternanță pozitivă ale tensiunii bazei tranzistorului T_3, deci și curentul maxim de bază al tranzistorului T_4.

S-au luat diverse precauții pentru a înlătura intrarea în oscilație la frecvențele înalte datorită prezenței tranzistoarelor cu siliciu. O mică inductanță L—6μH, care șuntează rezistența de 10 Ω în serie cu condensatorul de izolație de 2 mF protejează circuitul de reacție împotriva tensiunilor parazite de înaltă frecvență.

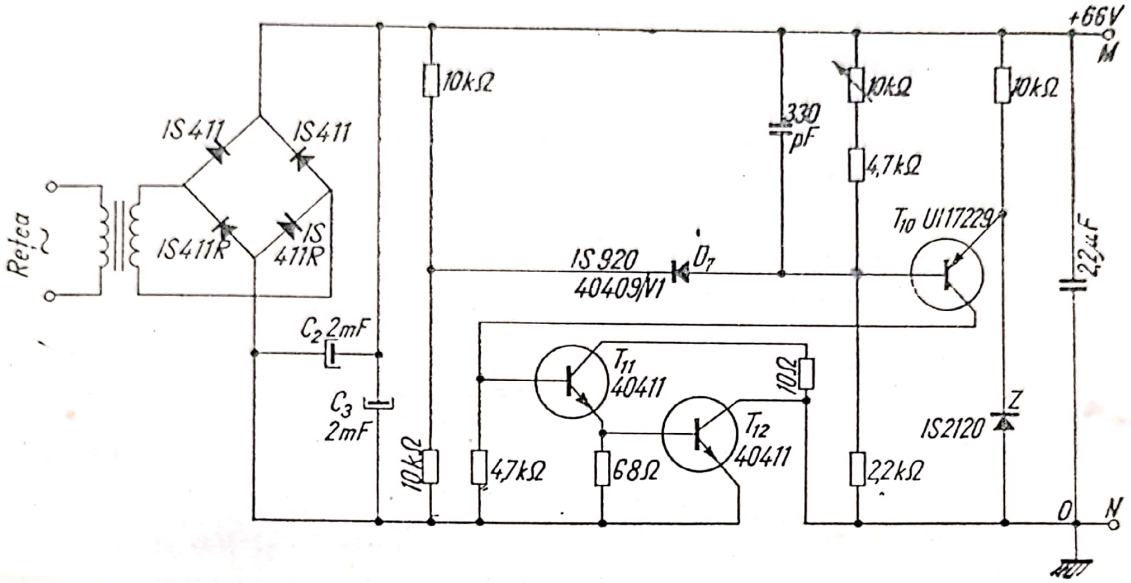


Fig. 6.37. Etajul de alimentare reglabilă folosit în amplificatorul QUAD 303 (punctele M și N sînt conectate la cele corespunzătoare din fig. 6.36).

Schema etajului care asigură alimentarea reglabilă a amplificatorului QUAD 303 este prezentată în fig. 6.37.

Dioda Zener Z stabilizează tensiunea de referință de emitor a tranzistorului comparator T_{10}, care comandă tranzistorul T_{12} prin intermediul tranzistorului T_{11}. Reglarea este eficace atîta timp cît dioda Zener este alimentată, deci cît timp curentul de emitor al tranzistorului T_{10} rămîne inferior unei valori de la care începînd tensiunea între bornele M și N (66 V în regim normal) poate scădea simultan cu curentul debitat.

Cînd reglarea încetează, tranzistorul T_{10} tinde să se blocheze (se reduce debitul tranzistorului T_{12}) și crește tensiunea colector-emitor, deoarece scade tensiunea dintre punctele M și N); dioda D_7 conduce din nou cînd tensiunea la bornele M, N este de aproximativ 50 V, ceea ce antrenează imposibilitatea anulării curentului emitorului tranzistorului T_{10} și conservarea unui curent de scurtcircuit fără inconveniente pentru T_{11}. Datorită condensatoarelor C_2 și C_3 se evită ca tranzistorului T_{11} să i se aplice tensiunea de vîrf care există în înfășurarea secundară a transformatorului de alimentare.

Amplificatorul de putere este el însuși protejat împotriva supraîncărcărilor, iar tensiunea lui de alimentare este limitată la o valoare acceptabilă.

Caracteristicile amplificatorului de putere și ale preamplificatorului sînt indicate în tabelul 6.4.

Tabelul 6.4

Caracteristicile ansamblului de amplificare QUAD—ACOUSTICAL de 45 W (28 W)

Mărimea	Valoarea
Amplificatorul de putere QUAD 303	
Puterea disponibilă și factorul de distorsiuni de neliniaritate: — pe o rezistență de sarcină de 8 Ω — pe o rezistență de sarcină de 16 Ω	Pentru orice putere < 45 W factorul de distorsiuni la 70 Hz și 700 Hz nu depășește 0,05% Factorul de distorsiuni la 10 kHz este de 0,1% Pentru orice putere < 28 W factorul de distorsiuni la 70 și 700 Hz nu depășește 0,05% Factorul de distorsiuni la 10 kHz este de 0,1%
Caracteristica de frecvență: — cu o rezistență de sarcină de 8 Ω — cu o rezistență de sarcină de 16 Ω	— 1 dB la 30 Hz și 35 kHz (0 dB la 1 kHz) — 1 dB la 20 Hz și 35 kHz (0 dB la 1 kHz)
Impedanța sursei	0,3 Ω în serie cu 2 mF și 6 μH
Impedanța de intrare	22 kΩ șuntați de 60 pF
Sensibilitatea	0,5 V pentru 30 W într-o rezistență de sarcină de 16 Ω
Raportul semnal/zgomot la puterea maximă	100 dB
Atenuarea de diafonie în banda 30 Hz — 10 kHz	60 dB
Stabilitatea	Necondiționată pentru orice sarcină la ieșire
Consumul	40—200 VA
Dimensiunile	324 mm × 159 mm × 120 mm
Greutatea	cca 8,2 kg

Tabelul 6.4 (continuare)

Mărimea	Valoarea
Preamplificatorul QUAD 33	
Factorul de distorsiune de neliniaritate — pentru 0,5 V la ieșire, pentru toate tensiunile de intrare și pentru reglajele de tonalitate în poziție neutră — pentru 0,5 V la ieșire, pentru orice reglaj al corectorului de tonalitate	Maximum: 0,02% între 30 Hz și 10 000 Hz Maximum: 0,1% între 30 Hz și 10 000 Hz
Raportul semnal/zgomot (măsurat cu filtrul de ponderare) între 15 Hz și 7 000 Hz	90 dB/0,5 V la ieșire cu toate reglajele în poziție neutră
Caracteristica de frecvență — pentru toate intrările, după corecția eventuală conform curbei RIAA (CEI-3)	± 0,5 dB între 30 Hz și 20 000 Hz
Caracteristica corectoarelor de frecvență	v. fig. 6.40
Caracteristica filtrelor de frecvență	v. fig. 6.41 și fig. 6.42
Reglajul echilibrului între nivelele electrice ale canalelor stereofonice	± 9 dB pe unul sau celălalt canal
Echilibrul între canale	1 dB de ecart maxim cînd reglajul nivelului variază cu maximum — 45 dB
Atenuarea de diafonie variază în funcție de impedanța surselor de audiofrecvență utilizate În cazul discurilor, diafonia proprie este în mod normal inferioară valorii	70 dB, între 30 Hz și 10 000 Hz
Sensibilitatea și impedanța de intrare — sursă radioreceptor — sursă mecanolector — magnetic de nivel mic — magnetic de nivel mare — ceramic — sursă magnetlector	 100 mV/100 kΩ 2 mV la 1 kHz/68 kΩ 6 mV la 1 kHz/68 kΩ 100 mV la 1 kHz 100, 400 sau 1 000 mV/40 kΩ conform reglajelor modulului interșanjabil
— tensiunea de ieșire destinată înregistrării magnetice	4 mV/180 Ω; 20 mV/200 Ω; 100 mV/800 Ω, conform reglajelor modulului interșanjabil

Curbele de răspuns în funcție de frecvență ale amplificatorului QUAD 303 sînt indicate în fig. 6.38, iar variația factorului de distorsiuni, în funcție de puterea de la ieșirea amplificatorului, este arătată în fig. 6.39.

Eficacitatea reglajelor de tonalitate pentru preamplificatorul QUAD 33 poate fi apreciată cu ajutorul fig. 6.40.

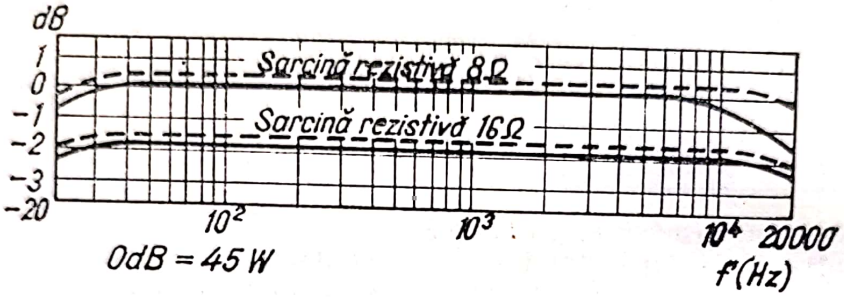


Fig. 6.38. Curbele de răspuns ale amplificatorului QUAD 303 (curbele figurate cu linie continuă corespund unui factor de distorsiuni $< 0{,}1\%$ la toate frecvențele; cele figurate cu linie întreruptă corespund unui factor de distorsiuni $< 1\%$).

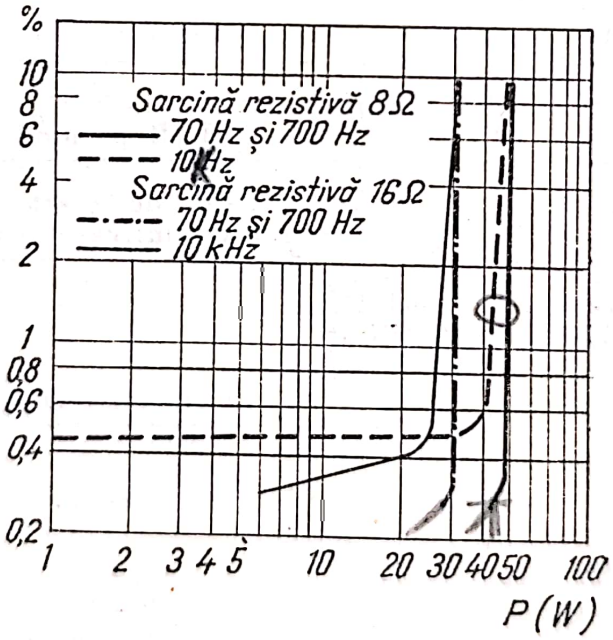


Fig. 6.39. Variația factorului de distorsiuni al amplificatorului QUAD 303 în funcție de puterea cedată (pentru frecvențele 70, 700 și 7 000 Hz), pentru sarcini rezistive de 8 Ω și 16Ω (limita inferioară a măsurărilor posibile ale factorului de distorsiuni este de 0,03%).

În fig. 6.41 și fig. 6.42 sînt prezentate caracteristicile de frecvență ale filtrelor trece-sus și trece-jos încorporate în preamplificatorul QUAD 33.

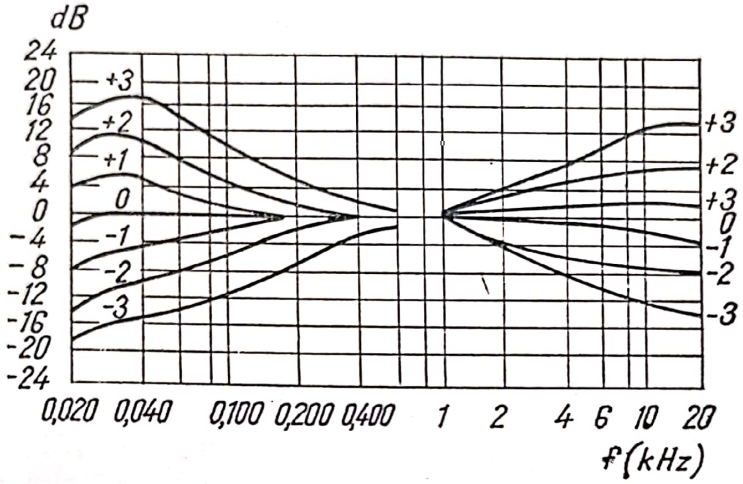


Fig. 6.40. Eficacitatea reglajelor de tonalitate pentru preamplificatorul QUAD 33.

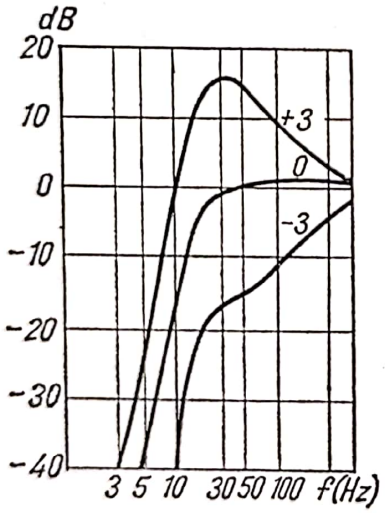


Fig. 6.41. Eficacitatea filtrului trece-sus încorporat în permanență în preamplificatorul QUAD 33 pentru trei reglaje ale corectorului pentru frecvențe joase.

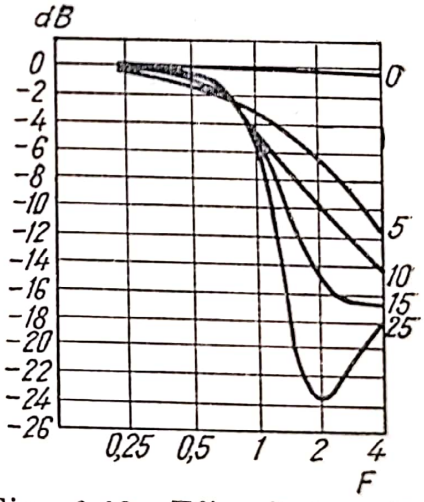


Fig. 6.42. Eficacitatea filtrului trece-jos în funcție de reglajul pantei de atenuare. [*F* reprezintă frecvența nominală de tăiere adoptată (5,7 sau 10 kHz). În punctul maxim, atenuarea care se face simțită începînd de la 0,5 *F* atinge 20 dB pentru o lărgime de bandă mai mică decît o octavă, admițînd o creștere de 6 dB între 2 *F* și 4 *F* (curbele au fost ridicate prin etalonarea unui buton de reglaj].

Bibliografie

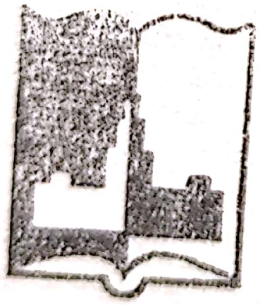
1. Augspurger, L. G. *The Acoustical Lens.* În: Electronics World, dec., 1962. p. 34.
2. Bădărău, E., Grumăzescu, M. *Bazele acusticii moderne.* București, Editura Academiei R.P.R., 1961.
3. x x x *Beschreibung, Montage und Bedienungsanleitung.* Präciton 60. Clamann & Grahnert.
4. Bloomberg, D. J., Rettinger, M. *Modern Sound-Stage Construction.* În: Journal of the SMPTE, vol. 75, nr. 1, ian, 1966, p. 25—28.
5. Brebeck, D., Brücklein, R., Krauth, E., Spandöck, F. *Akustisch ähnliche Modelle als Hilfsmittel für die Raumakustik.* În: Acustica, vol. 18, nr. 4, 1967, p. 213—226.
6. Brüel & Kjaer. *Main catalog.* Copenhaga, Orhoe Print, sep, 1968.
7. Burchard, D. *Diversity-Einrichtung für drahtlose Mikrophone.* În: Rundfunk-technische Mitteilungen, nr. 2, 1966, p. 80
8. Burd, A.N., Gilford, C.L.S. Spring. N.F. *Data for Acoustic Design of Studios.* În: BBC Engineering Division Monograph, nr. 64, nov, 1966.
9. Cartianu, G. *Bazele radiotehnicii.* București, Editura didactică și pedagogică, 1962.
10. x x x *5e Congrès International d'Acoustique. Rapports Conférences Particulières* I-a. Liège, Éditeurs Daniel E. Commins, 1965.
11. x x x *5e Congrès International d'Acoustique, Conférences Générales II.* Liège, Éditeurs Daniel E. Commins, 1965.
12. Conturie, L. L., *Acoustique appliquée.* Paris, Éditions Eyrolles, 1955.
13. Didier, A. *Physique appliquée à la reproduction des sons et des images.* Paris, Masson & Cie Éditeurs, 1964.
14. x x x ELA-TIP praktischer Leitfaden für Elektroakustik, nr. 12, iun; nr. 13, sep, 1959.
15. x x x ELA-TIP praktischer Leitfaden für Elektroakustik, nr. 23, aug; nr. 24, oct, 1962.
16. x x x ELA-TIP praktischer Leitfaden für Elektroakustik, nr. 32, apr, 1965.
17. Furduev, V. V. *Elektroakustika.* Moscova, OGIZ, 1948.
18. Furduev, V. V. *Arhitekturnaia akustika.* Moscova, G.I.L.S.A.S.M., 1961.
19. x x x *Gesamtkatalog. Messgeräte für Tonträgerlaufwerke.* În: EMT, Wilhelm Franz. Wettingen, Schweiz, 1967.
20. Guy, J. P. *Disc-Recording and Reproduction.* Londra, 1964.
21. Harris, Cyril M. *Handbook of Noise Control.* New York, McGraw-Hill Book Company, 1957.

Scanned with OKEN Scanner

47. Skode, Fr. *Windscreening of Outdoor Microphones.* În: Technical Review, Brül & Kjaer, nr. 1, 1966.
48. Smith, A. P. *A Mobile Electroacustic Laboratory.* În: Journal of the Audio Engineering Society, vol. 16, nr. 4, oct, 1968.
49. Slot, G. *From Microphone to Ear.* Philips Technical Library, 1965.
50. Stanomir, D. *Electroacustică.* București, Editura didactică și pedagogică, 1968.
51. Tiefenthaler, E. *Compaktmodul-Technik, ein neues System für Tonregietische.* În: WSW technische Berichte, Seria 19, caiet 1, apr, 1967, p. 37—55.
52. x x x *Tonfrequenz Leitungen für die Tonstudiotechnik besonders Hochfrequenzdicht.* EMT, Wilhelm Franz Lahr, Schwarzwald 1967.
53. Völker, E. J. *Bauakustische Massnahmen bei den neuen Sprecher und Tonträgerräumen des Hessischen Rundfunks.* În: Rundfunktechnische Mitteilungen, fasc. 10, caiet 6, 1966, p. 320—324.
54. x x x *WSW Prospekt. 8 W Abhörverstärker mit Transistor bestückung.* Kenn., nr. 811. 471B.
55. Zănescu, L. *Une chambre d'écoute pour auditions stéréophoniques de haute qualité.* În: Radiodiffusion et Télévision, nr. 5, 1965, p. 34—39.

Scanned with OKEN Scanner

Bun de tipar : 08.04.1970. Coli de tipar 27,5 + planșe 1. C.Z. 534.84/.86:681.84



Tiparul executat sub comanda nr. 21 la Combinatul Poligrafic „Casa Scînteii" Piața Scînteii nr. 1, București R.S.R.

Scanned with OKEN Scanner

Tehnica sunetului „Captarea"

M. Berindei, Nora Rebreanu şi A. Mîşcă

Tehnica sunetului „Înregistrarea şi redarea"

A. Mîşcă, Ina Brătescu şi E. Şervan

Scanned with OKEN Scanner